



Tuinbouw zonder fossiele energie

Feije de Zwart¹, Bram Vanthoor¹ en Sven Koreneef²

¹ Wageningen University & Research, ² AAB Nederland

Rapport WPR-853

Referaat

De maatschappelijke doelstelling om de CO₂-emissie te beperken betekent dat de glastuinbouw moet overstappen naar andere energiedragers dan gas. Dit rapport beschrijft alternatieven hiervoor en met het ketelhuis simulatieprogramma van AAB is berekend hoe deze alternatieven uitwerken op de energiekosten. Input daarbij zijn enerzijds de vraagpatronen voor warmte, elektriciteit en CO₂, en anderzijds de prijzen voor energiedragers en installaties en belastingen en heffingen. De berekeningen zijn gemaakt voor zes voorbeeld-teelten die samen een dwarsdoorsnede door de tuinbouw opleveren. In grote lijnen kan geconcludeerd worden dat energiekosten zullen gaan stijgen, maar dat door anders te gaan verwarmen die stijging beperkt blijft. Warmte-infrastructuren waarmee restwarmte of geothermische warmte naar kassen kan worden gebracht zijn hiervoor een goede kandidaat, maar ook laagwaardige warmte die uit oppervlaktewater wordt gewonnen of uit de kas zelf. In bijna alle gevallen blijkt de warmtepomp een rol te gaan spelen. De nu wijdverspreide WKK zal in een fossiel-vrije tuinbouw nauwelijks meer worden toegepast. Anticiperend op de ontwikkelingen kunnen tuinders zorgen voor laag-temperatuur verwarming-systemen (of de voorbereiding daarop) en energiebesparende maatregelen voor hun kassen nemen. Het onderzoek is gefinancierd door "Kas Als Energiebron", het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Landbouw Natuurbeheer en voedselkwaliteit en LTO-Glaskracht Nederland en wordt ondersteund door de Stichting Programmafonds Glastuinbouw.

Abstract

Society asks for serious decrement of CO₂ emissions, which means that greenhouse horticulture will have to change from natural gas as the dominant energy source towards alternatives. This report describes such alternatives and their effects on the energy costs. For this, a model built by AAB Netherlands was used. As input it uses the time varying demands on heat, electricity and CO₂ and the prices for energy-commodities, equipment, taxes and levies. Computations have been made for 6 typical greenhouse cultivations, representing the range of greenhouses in the Netherlands. It is concluded that energy costs will go up, but that the increment can be limited by adopting new ways of heating. Heat distribution systems for large clusters of greenhouses show promising possibilities, but also low grade heat obtained from surface water bodies or from heat excesses of the greenhouse itself may serve as a heat source. In almost all cases, heat pumps will be part of the system and the now widely used combined heat and power will disappear when natural gas is no longer available. Because of the major role of heat pumps, growers may prepare their greenhouses for the application of low temperature heating systems and make preparations for energy conserving measures. The project is funded by "Kas Als Energiebron", an innovation and action program supported by the Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality and the growers association LTO-Glaskracht Nederland.

Rapportgegevens

Rapport WPR-853

DOI nummer: 10.18174/470850

Projectnummer: 3742249400

Thema: Energie en Klimaat

Disclaimer

© 2019 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Zes voorbeeldteelten	9
2.1	Onbelichte tomatenteelt	9
2.1.1	Grafieken	11
2.2	Belichte tomatenteelt	12
2.2.1	Grafieken	14
2.3	Belichte Chrysantenteelt	15
2.3.1	Grafieken	17
2.4	Belichte Alstroemeriateelt	18
2.4.1	Grafieken	21
2.5	Warme potplantenteelt	22
2.5.1	Grafieken	23
2.6	De teelt van Radijs	24
2.6.1	Grafieken	25
3	Fossielvrije opties voor warmte, stroom en CO₂	27
3.1	Inleiding	27
3.2	Geothermie	28
3.3	Industriële restwarmte	29
3.4	Verwarming met warmte-overschotten uit de kas	30
3.5	Een ketel als backup voorziening	31
3.6	CO ₂ -dosering	31
3.7	Economische parameters	32
4	Economische parameters van een fossiel-vrije energie-infrastructuur	35
4.1	Inleiding	35
4.2	Verwachtingen voor prijsontwikkelingen	35
4.3	Effect op warmteprijzen	38
4.4	Conclusies	39
5	Optimalisatie van invullingsopties	41
5.1	Inleiding	41
5.2	Het AAB Ketelhuissimulatieprogramma	41
5.3	Ketelhuissimulatie voor een belichte tomatenteelt in het transitie-scenario	42
5.4	Energie-optimalisaties voor de 6 teelten onder de verschillende prijsscenario's	45
5.4.1	Onbelichte tomatenteelt	45
5.4.2	Belichte tomatenteelt	46
5.4.3	Belichte Chrysantenteelt	47
5.4.4	Belichte Alstroemeriateelt	48
5.4.5	Warme potplantenteelt	48
5.4.6	Radijzenteelt	49
5.5	Conclusies uit de scenarioberekeningen	50

6	Conclusies	53
	Literatuur	57
	Geconsulteerde energie-experts	59

Samenvatting

De Nederlandse tuinbouw heeft de ambitie om op termijn volledig vrij van fossiele energie te telen. Dat vergt een grote inspanning omdat op dit moment de verwarming en elektriciteitsvoorziening voor het overgrote deel gebaseerd is op de verbranding van aardgas.

Er zijn verschillende technieken beschikbaar die zo'n fossiel-vrije tuinbouw mogelijk maken. Een veel besproken techniek is de aansluiting van een kassencluster op een infrastructuur met hoogwaardige (rest)warmte, zoals geothermie of industriële restwarmte.

Laagwaardige warmte (warmte uit de koeling van datacenters bijvoorbeeld) kan ook, maar zal gebruik moeten maken van een warmtepomp. Een warmtepomp blijkt evenwel ook goed toepasbaar in een hoogwaardige warmte-infrastructuur. Het blijkt dat hiermee de benuttingsgraad van zo'n warmte-infrastructuur op een kosteneffectieve wijze kan worden verhoogd.

Behalve vanuit een laagwaardige warmte-infrastructuur kan een warmtepomp de laagwaardige energie ook onttrekken aan een KWO systeem (Koude/Warmte Opslag, ofwel aquifer). Waar energie aan een aquifer wordt onttrokken moet die ook weer worden geregeneerd. Dit kan vanuit de zomerse warmte-overschotten van de kas, maar ook door oppervlaktewater dat 's zomers opgewarmd is te gebruiken. Dit laatste lijkt een goedkope mogelijkheid voor de regeneratie te bieden en komt dan ook als aantrekkelijke optie in deze scenariostudie naar voren.

Het onttrekken van zomerse warmteoverschotten aan de kaslucht is een optie voor tuinders die geen toegang hebben tot een warmte-infrastructuur of oppervlaktewater. In zwaar belichte teelten zou de laagwaardige warmte die voor de warmtepomp nodig is zelfs binnen het etmaal aan de kas kunnen worden onttrokken waardoor alleen een grote etmaalbuffer voor de buffering van laagwaardige warmte nodig zou zijn.

In alle bestudeerde warmtevoorzieningssystemen is het gebruik van alternatieve warmtebronnen geoptimaliseerd. Er wordt dus niet naar een 100% dekking gestreefd, maar naar een economisch verantwoorde dekkingsgraad, wat betekent dat er meestal nog een kleine hoeveelheid energie vanuit vaste, vloeibare of gasvormige brandstoffen nodig zal zijn. Deze worden dan gebruikt in een ketel die direct ook als backup-voorziening geldt. Ook wordt het gebruik van WKK niet a priori uitgesloten.

De bovengenoemde technieken zijn beoordeeld op hun toepasbaarheid voor een duurzame energievoorziening van een 6-tal voorbeeld teelten. Belichte en onbelichte Tomaat, Chrysant, Alstroemeria, warme potplanten en radijs. Voor deze teelten zijn verbruiksprofielen opgesteld voor de warmte-, elektriciteits- en CO₂-vraag, uitgaande van de huidige (moderne) kas en teeltwijze, maar ook voor een kas met extra energiebesparende technieken. Denk hierbij aan LED-verlichting, ontvochtiging met voelbare warmteterugwinning en extra schermen.

Vervolgens zijn voor beide kastypen voor elk van de zes teelten de kosten voor de invulling van deze vraagpatronen bepaald met het AAB 'ketelhuis' simulatieprogramma. Dit programma gebruikt de relevante kostenparameters als input om de inzet-volgorde van energiebronnen te optimaliseren, uitgaande van het vraagpatroon over 12 maand-gemiddelde etmalen.

De kostenparameters hebben betrekking op de variabele en capaciteitscomponenten van gas, elektra, CO₂, CO₂-emissierechten en energiebelastingen en de kosten van de installaties in de kas en in het ketelhuis.

Wanneer het ketelhuissimulatieprogramma wordt gevoed met de huidige prijzen voor energie, heffingen en installaties levert de optimalisatie een ketelhuis-installatie die direct herkenbaar is in de praktijk. Dit betekent een belangrijke rol voor de WKK die door de productie van stroom uit (goedkoop) gas de variabele kosten voor warmte (en stroom) laag kan houden.

Het is daarom niet verwonderlijk dat, op een enkele uitzondering na, het programma berekent dat met de huidige energieprijzen het gebruik van alternatieve verwarmingssystemen of extra energiezuinige kassen geen kostenbesparingen oplevert.

Dit neemt niet weg dat, inspelend op incidentele subsidies of kansen die door regionale overheden in het kader van de realisatie van duurzaamheidsdoelstellingen worden geboden, er zeker mogelijkheden zijn om nu al de energievoorziening van de teelt te verduurzamen. Ook daar waar producten uit een kas met een verduurzaamde energievoorziening tegen hogere prijzen afgezet kunnen worden zal een ondernemende tuinder zulke mogelijkheden kunnen benutten.

In de nabije toekomst zullen energiekosten naar verwachting gaan stijgen en van de overheid wordt verwacht dat zij meer gaat sturen op vermindering van de CO₂-emissie. Deskundigen uit de energiemarkt hebben een verwachting opgesteld hoe deze ontwikkeling tot uiting komt in de kosten van de energievoorziening. Dit is weergegeven in twee energieprijsscenario's, het Transitiescenario en het Duurzame prijsscenario. Het duurzame prijsscenario heeft daarbij nog een keuze-optie, namelijk een prijszetting voor geothermie zoals die met de huidige ervaringen verwacht wordt, en een prijszetting die uitgaat van technische ontwikkelingen die de prijs van geothermie zal halveren.

Met deze toekomstige prijsscenario's zijn de berekeningen van het ketelhuissimulatieprogramma herhaald. Daaruit blijkt dat bij die gestegen energieprijzen de inzet van allerlei verschillende alternatieve verwarmingssystemen de stijging van de energiekosten kunnen beperken. Ook is bij die prijsscenario's, op een enkele uitzondering na, het gebruik van een energiezuinige kas lonend. Dat is reeds het geval zonder rekening te houden met een hogere productie of betere kwaliteit omdat effecten op de productie in dit rapport buiten beschouwing zijn gelaten. Zo'n productieverbetering is door de verbetering van de kastechiek wél te verwachten, en zal helpen om de toenemende kosten voor de energievoorziening op te vangen.

In veel gevallen blijkt dat voor een kosten-effectieve, duurzame energievoorziening een warmtepomp nodig te zijn en er is een duidelijke afnemende trend in het gebruik van WKK zichtbaar. In een fossielvrije tuinbouw zal de warmtepomp daarmee de rol van efficiënt verwarmingsapparaat van de WKK over gaan nemen. Kassen zullen in een fossielvrije energie-infrastructuur dus niet langer leveranciers van elektriciteit zijn, maar belangrijke afnemers van stroom worden. CO₂ komt in dat geval niet meer uit de verbranding van aardgas, maar zal in de regel vanuit een externe bron worden geleverd.

De elektriciteit moet ook van duurzame herkomst zijn, wil de energievoorziening van de tuinbouw duurzaam genoemd kunnen worden. Uitbreiding van de duurzame stroomproductie en een toereikende transport-infrastructuur zijn dan ook noodzakelijke voorwaarden voor zo'n fossiel-vrije tuinbouw.

En om de warmtepomp energetisch en kostentechnisch efficiënt te kunnen gebruiken zal het verwarmingssysteem van kassen steeds meer een laag-temperatuur systeem worden. Tuinders die nu met nieuwbouw- of verbouwplannen bezig zijn doen er daarom goed aan de kas hier tenminste op voor te bereiden. Ook dient de kas op z'n minst voorbereid te zijn voor extra energiebesparende maatregelen (een extra scherm, ontvochtiging met warmteterugwinning). Tuinders die gezien de maatschappelijke en politieke ontwikkelingen rond CO₂-emissie verwachten dat de prijzen die onder het transitiescenario zijn genoemd al heel snel zullen gaan gelden zullen niet alleen de voorbereidingen op een energiezuinige kas moeten nemen, maar de benodigde extra installaties ook daadwerkelijk moeten aanbrengen.

Hoe de precieze capaciteiten en ketelhuisconfiguraties het beste gekozen kunnen worden blijkt vooral afhankelijk van de teelt, en veel minder van de vraag of er uitgegaan wordt van het duurzame prijsscenario, behorend bij een daadwerkelijk fossielvrije energie-infrastructuur, of van een transitie-prijsscenario, waarbij een deel van de energievoorziening nog steeds met fossiele brandstoffen wordt ingevuld.

Dit is een gunstige conclusie want dit betekent dat investeringen die voor de middellange termijn worden genomen hun waarde ook op de langere termijn blijven behouden.

De scenariostudies laten ook zien dat voor de energie-intensieve teelten (tomatenteelt, warme potplanten) de keuze voor de ene of de andere invulling van de duurzame energievoorziening belangrijke verschillen in integrale energiekostprijs opleveren. Een warmte-infrastructuur pakt in de regel goed uit. Ook het gebruik van oppervlaktewater komt als aantrekkelijke optie naar voren, maar omdat hier nog geen concrete ervaring mee is wordt dit vooral als een interessant te verkennen pad beschouwd. Niet zozeer technisch, maar vooral in de vergunningverlening.

Voor energie-extensieve teelten maken de verschillende opties weinig uit. Voor deze categorie (hier bestudeerd aan de hand van de Chrysantenteelt, de Alstroemeriateelt en de teelt van radijs) kan dus worden gesteld dat eigenlijk iedere techniek, mits goed gedimensioneerd geschikt is voor de verduurzaming van die teelten. Het feit dat voor alle teelten blijkt dat er naast de gunstigste opties ook andere mogelijkheden zijn die de integrale kostprijs slechts beperkt verhogen maakt dat de lokale beschikbaarheid van een warmte-infrastructuur, oppervlaktewater of aquifers niet allesbepalend is voor de mogelijkheid om de energievoorziening van bestaande kassen te verduurzamen.

1 Inleiding

In de looptijd van het onderzoeksprogramma Kas Als Energiebron is het warmteverbruik van kassen enorm verlaagd. In teelten waar tien jaar geleden 35 tot 40 m³/(m² jaar) werd verbruikt is dat bij voorlopigende tuinders gedaald naar 25 tot 30 m³/(m² jaar). Een hele prestatie die vooral op het conto van schermen en een nauwkeurigere ontvochtiging moet worden geschreven.

Het energieverbruik is echter nog geen 0 en bij verreweg de meeste tuinders is de gebruikte energie van fossiele oorsprong, meestal gas. Ingekochte stroom komt vooral uit gas en steenkool. Kassen zijn dan ook zeker nog niet klimaatneutraal.

Toch is dit wel de ambitie die in het onderzoeks- en actieprogramma Kas Als Energiebron geformuleerd is en er is ook een duidelijke maatschappelijke druk om het gasverbruik uit te faseren. Met een totaal verbruik van ruim 3 miljard m³ Gronings aardgas per jaar behoort de tuinbouw tot een van de sectoren waarvan een belangrijke bijdrage wordt verwacht in de afbouw van de Groningse aardgaswinning.

Naast technieken om de energievraag te verlagen heeft het onderzoeksprogramma Kas Als Energiebron ook ingezet op technieken om de resterende energievraag klimaatneutraal in te kunnen vullen. Er is inmiddels een aantal bedrijven dat gebruik maakt van geothermie of ketels die op biomassa gestookt worden. Ook zijn er bedrijven die via WKO zonne-energie voor de verwarming inzetten en wordt er gebruik gemaakt van groene stroom.

Deze voorloper-bedrijven vormen echter nog maar een klein deel van het totale areaal en zelfs voor de voorloper-bedrijven geldt dat slechts een deel van hun energievoorziening fossiel-vrij is.

De omschakeling van fossiel naar duurzaam zou kunnen worden versneld indien tuinders, kassenbouwers en sturende beleidsorganisaties beter zouden zijn geïnformeerd over de technische mogelijkheden. Het is ook aannemelijk dat deze technische mogelijkheden in de nabije toekomst substantieel zullen verbeteren zodat ook het economisch perspectief zal verbeteren.

Desalniettemin is de verwachting dat een fossiel-vrije energievoorziening beduidend duurder zal zijn dan het huidige, op aardgas gebouwde systeem. Daarmee wordt het nóg belangrijker om een beeld te hebben van de consequenties van de technische en beleidsmatige keuzes voor de verschillende opties.

In dit rapport wordt eerst een beschrijving gegeven van de huidige situatie, waarbij de huidige werkwijze van voorop lopende bedrijven voor de verschillende teelten als startpunt wordt gehanteerd. Dit betekent dat de klimaatinstellingen die gehanteerd worden uitgaan van toepassing van Het Nieuwe Telen.

In hoofdstuk 2 wordt voor 6 teelten die huidige teeltwijze beschreven en worden de verbruikspatronen getoond en toegelicht. Er is gekeken naar de verbruikspatronen voor warmte, elektriciteit en CO₂. Het startpunt is steeds de huidige werkwijze van 'de gemiddelde teler', maar er worden voor die 6 teelten ook doorkijken gegeven voor aannemelijke veranderingen in de installatie in de nabije toekomst. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het effect van de toepassing van LED-technologie, of ontvochtiging met warmteterugwinning. Voor elke teelt komen op die manier 4 verbruiksprofielen gegenereerd die horen bij verschillende toekomstscenario's.

De verbruiksprofielen kunnen vanuit verschillende bronnen worden ingevuld. Deze mogelijkheden worden beschreven in hoofdstuk 3. In een fossielvrije energie-infrastructuur zal elektriciteit vanuit groene stroom moeten worden geleverd of, deels, door lokale opwekking uit groene energiedragers moeten worden opgewekt.

Voor de invulling van de warmtebehoefte vanuit fossiel-vrije bron zijn allerlei opties voorhanden. De mogelijkheden en implicaties daarvan worden in dit hoofdstuk geschetst zodat de verdere uitwerkingen die in de latere hoofdstukken aan bod komen gemakkelijker in de juiste context kunnen worden geplaatst.

Een belangrijke overeenkomst tussen de verschillende vormen van een fossiel-vrije invulling van de warmtevraag is dat de hoeveelheid CO₂ die daarbij beschikbaar komt zeer beperkt zal zijn. Daar waar CO₂ in de huidige tuinbouw in de regel uit de ketel en/of WKK komt zal die in een fossiel-vrije infrastructuur vooral van elders aangevoerd moeten worden. Ook hiervoor worden in hoofdstuk 3 verschillende opties genoemd.

Verschillende invullingsopties leiden uiteraard tot verschillende kosten, afhankelijk van de vaste en variabele kosten die met zo'n invullingsoptie gemoeid zijn. Kostprijzen voor energie en installaties zijn moeilijk vast te stellen, en vooral wanneer naar een wat verder in de toekomst gelegen situatie wordt gekeken. Omdat echter zulke scenario's nodig zijn om iets zinnigs over de verschillende opties te kunnen zeggen wordt in hoofdstuk 4 een overzicht van de economische parameters gegeven. Er worden 3 ijkpunten vermeld. Als eerste de huidige situatie en als derde een scenario waarin massief door markt en regelgeving op een fossiel-vrije economie is ingezet. Daar tussenin wordt een scenario geschetst wat het 'transitiescenario' wordt genoemd. Dit is een tussenstation waarin naast stijgingen van de 'kale' kostprijs van energierecommodity's ook overheidsmaatregelen zijn genomen die prijsprikkels opleveren die het gebruik van fossiele energiebronnen moeten terugdringen.

Met de vraagpatronen, de verschillende technieken en de prijsscenario's in de hand kan vervolgens worden gekeken naar de consequenties van de verschillende fossielvrije opties. Dit wordt beschreven in hoofdstuk 5. Elke invulling van een vraagpatroon van een bepaalde teelt door (een combinatie van) fossiel-vrije systemen levert een kostenplaatje. Door alle verschillende opties door te rekenen kan worden bepaald welke combinatie van technieken de laagste overall energiekosten oplevert en dus de meest geschikte invulling vormt. Om deze berekening te kunnen maken is er gebruik gemaakt van programmatuur die door AAB is opgesteld en die een representatie geeft van de inzet van energiebronnen in afhankelijkheid van variabele prijzen over het etmaal. Zo wordt er bij de inzet van WKK rekening gehouden met de hogere prijs voor elektriciteit overdag en een lagere prijs 's nachts en in het weekend. Ook voor de CO₂-dosering wordt rekening gehouden met het feit dat alleen de eventuele CO₂-productie overdag een waarde heeft voor de invulling van de CO₂ vraag. De resterende vraag moet dan door de inkoop van CO₂ van elders worden ingevuld. Uiteraard is er voor iedere teelt en voor ieder scenario een oplossing die onder de gebruikte prijsscenario's de laagste kosten realiseert. Het zal duidelijk zijn dat niet voor elk bedrijf de lokale randvoorwaarden gelijk zullen zijn en dat het palet aan opties voor verschillende bedrijven verschillend zullen zijn. Daarom is niet alleen inzicht in de goedkoopste optie van belang, maar ook inzicht in andere opties, die weliswaar iets duurder zijn, maar een ruimer toepassingsgebied hebben.

In hoofdstuk 6, waar de conclusies uit het onderzoek worden getrokken, is dan ook ruime aandacht voor de omgevingsfactoren die het keuzeprocess voor interessante opties beïnvloeden. Dat energiekosten in de toekomst zullen oplopen is onvermijdbaar, maar de mate waarin dat gebeurt kan beperkt blijven door verstandige keuzes in installaties en infrastructuur.

2 Zes voorbeeldteelten

De tuinbouw omvat een breed palet aan teelten en kassystemen die op bedrijfsniveau om een custom made invulling van de energie-infrastructuur vragen. Om toch een overzicht over de breedte van de sector te kunnen geven wordt er in dit rapport gewerkt met 6 voorbeeld-teelten. Van elk van deze teelten wordt aangegeven voor welk deel de tuinbouw zo'n voorbeeld-teelt als model zou kunnen worden gezien. Dit geeft tevens een weegfactor voor de resultaten die met deze teelten in de energietransitie gemaakt kunnen worden.

Voor elk van deze voorbeeld-teelten wordt een beeld geschetst van de huidige werkwijze, en wordt er een doorzicht gegeven van de mogelijkheden om het energieverbruik verder te beperken en daarmee de kosten die met de verduurzaming van die teelten gemoeid zijn te beperken.

2.1 Onbelichte tomatenteelt

De beschrijving voor een set representatieve instellingen voor de huidige onbelichte tomatenteelt is besproken met de landelijke tomatencommissie. De onbelichte tomatenteelt beslaat op dit moment ongeveer 700 ha.

Als we stellen dat qua energieverbruik de onbelichte tomatenteelt vergelijkbaar is op de eveneens onbelichte komkommer- en paprikateelt dan staat de onbelichte tomaten teelt model voor 30% van het huidige tuinbouw-areaal.

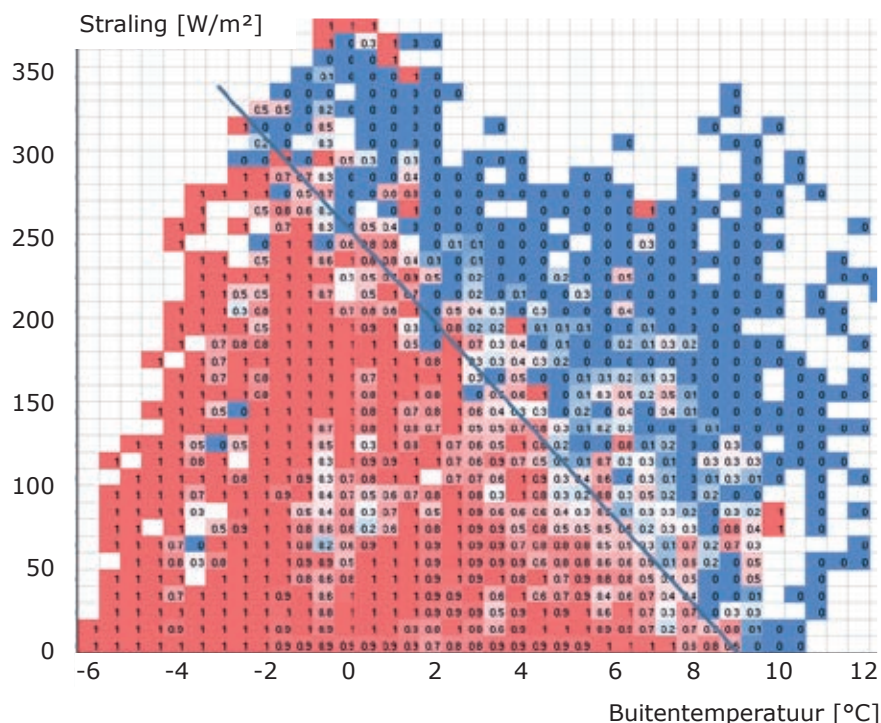
De onbelichte tomatenteelt laat zich beschrijven met de volgende eigenschappen:

Kassysteem:	Venlo kas met enkel glas en twee kappen van 4 meter op een tralie. De lichttransmissie op gewaskophoogte is, bij geopend scherm 72%.
Plant- en ruimdatum:	In de onbelichte tomatenteelt wordt op half december geplant (15 dec) en wordt er 11 maanden achtereen geteeld. De kas wordt dus half november geruimd.
Verwarmingssysteem:	Er ligt een buisrail systeem met 10 buizen met een diameter van 51mm in een tralie van 8 meter. Daarnaast hangt er tussen de rijen een groeibuis. Met 5 gewasrijen per tralie zijn dat 5 buizen per tralie. De diameter van de groeibuis is meestal 38 mm. Het ondernet is begrensd op 70°C en de groeibuis op 55°C. Bij gebruik van alternatieve energievoorzieningssystemen waarbij een grote uitkoeling van belang is wordt het verwarmend oppervlak (dat is het aantal buizen) in het ondernet verdubbeld.
Kasklimaatsetpoints:	De eerste zes weken na planten wordt er 20°C overdag en 18.5°C 's nachts aangehouden. Daarna wordt de dagtemperatuur iets verlaagd (19.5°C) en wordt er een avond-dip geïntroduceerd op 16°C (van zon-onder tot middernacht) de rest van de nacht wordt 17.5°C aangehouden. De ventilatielijn staat overdag 1°C boven de stooklijn en 's nachts 0.5°C boven de stooklijn. Overdag wordt de ventilatielijn 2°C omhoog getrokken in een lichttraject van 300 tot 500 W/m ² . Tijdens de teeltwisseling wordt de kas alleen vorstvrij gehouden. Bij de berekeningen voor de energiezuinige tomatenteelt wordt gebruik gemaakt van temperatuur-integratie waardoor de temperatuur op koude dagen 1°C wordt verlaagd als er in de voorafgaande periode voldoende temperatuur-opbouw heeft kunnen plaatsvinden. Een temperatuur-opbouw vindt plaats door de ventilatielijn 2°C omhoog te leggen en daarmee het ventileren op temperatuur uit te stellen.
Minimumbuis:	Praktijktuinders gebruiken in de nacht een minimumbuis van 40°C en overdag een minimumbuis van 45°C. De buis wordt overdag wel afgebouwd op straling. In een stralingstraject tussen 100 en 250 W/m ² (buiten gemeten) wordt de minimumbuis temperatuur naar de kasluchttemperatuur afgebouwd. Effectief is de minimumbuis overdag dus vaak uit. In de avond (van zon-onder tot middernacht) wordt geen minimumbuis gebruikt.

Bij gebruik van een verdubbeld aantal verwarmingsbuizen moet de instelling voor de minimumbuis temperatuur worden verlaagd om de warmte-input gelijk te houden. De waarden worden dan 29°C 's nachts en 32°C overdag.
In de berekeningen voor de Energiezuinige tomatenteelt gaat de minimumbuis er helemaal uit.

Luchtvochtigheid: De kas ventileert op vocht bij een luchtvochtigheid groter dan 82% overdag en 85% 's nachts.
In de energiezuinige optie wordt het setpoint 85% overdag en 90% 's nachts.

Schermb: De kas is uitgerust met een beweegbaar transparant scherm (Luxuous 1347). Dit wordt gesloten als het buiten kouder is dan 15°C.
De instellingen waarbij het scherm overdag geopend wordt of gesloten wordt gehouden zijn ontleend aan waarnemingen in het monitoringproject bij een niet-belichtende tuinder.
Onderstaande Figuur toont bij welke licht/straling combinaties het scherm open was en bij welke combinaties het gesloten was.
In de linker-onderhoek (koud en/of donker) was het scherm altijd gesloten. In de rechter-bovenhoek (warm en/of zonnig) was het altijd open. In het middengebied van de grafiek zien we dat het scherm bij een bepaalde combinatie van licht en temperatuur soms open en soms gesloten was. Om toch een duidelijk criterium voor het openen of sluiten van het scherm te hebben is een scheidingslijn tussen deze gebieden getekend. Deze scheidingslijn geeft aan dat als het 's ochtends warmer is dan 9°C het scherm geopend wordt bij het eerste licht (straling meer dan 5 W/m²). Wanneer het kouder is dan -4°C wordt het scherm pas geopend als er meer dan 350 W/m² globale straling is. Bij tussenliggende temperaturen wordt het stralingscriterium waarboven het scherm wordt geopend lineair aangepast.



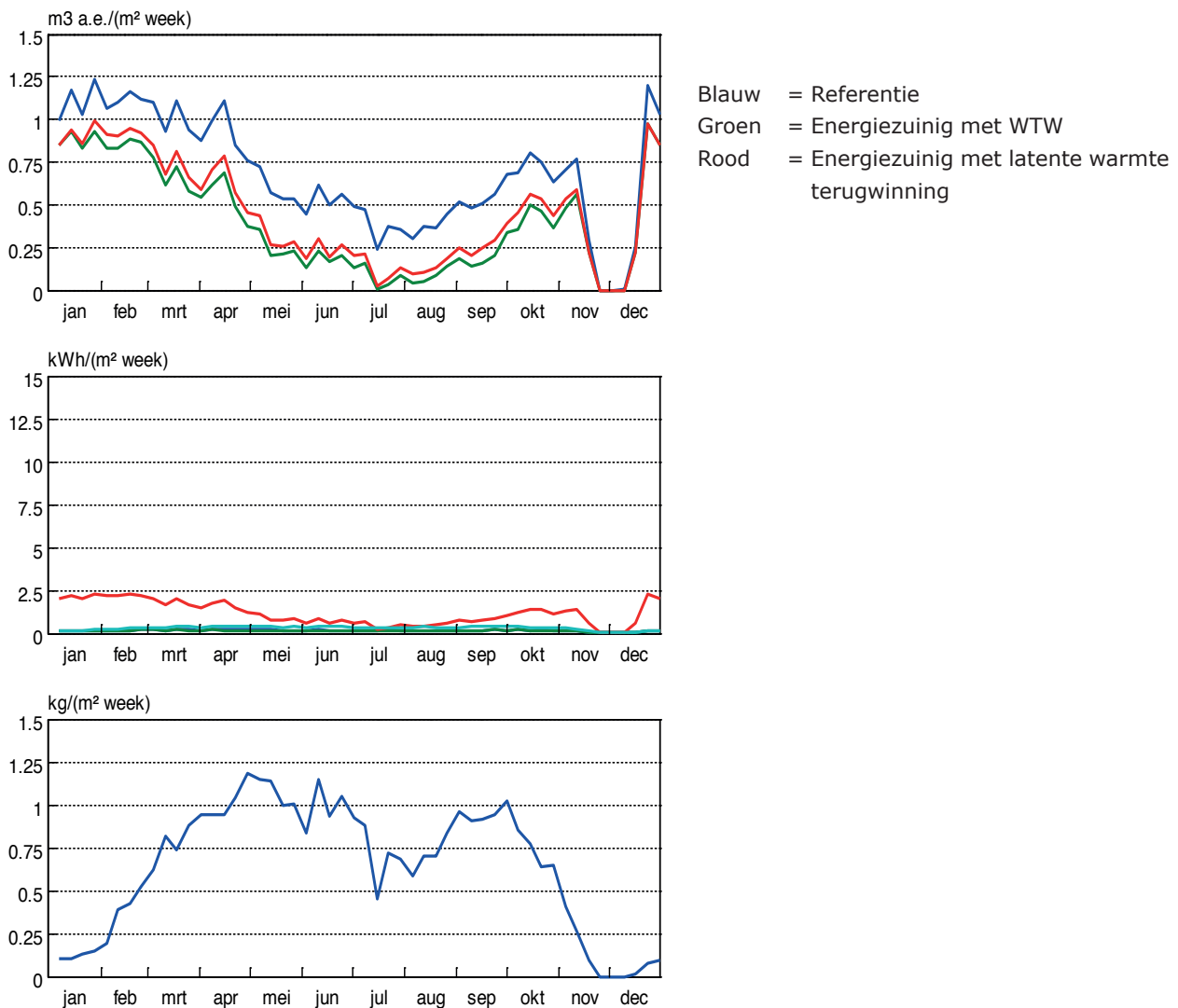
Er wordt een vochtkier in het scherm getrokken (max. 4% open) als de luchtvochtigheid boven de 87% RV komt.
In de energiezuinige optie komt er een tweede energiescherm bij wat 's nachts altijd samen met het eerste dicht is, maar overdag eerder wordt opengetrokken. Dit tweede scherm gaat al bij 5°C buitentemperatuur bij het eerste licht open.

WKK:

Hoewel de elektriciteitsvraag per m^2 in de onbelichte tomatenteelt klein is, hebben veel tuinders toch een WKK-installatie. Deze draait vooral overdag t.b.v. de productie van CO_2 en elektriciteit. De WKK draait dus vooral overdag. De elektriciteit wordt verkocht aan het openbare net en de warmte wordt opgeslagen in een buffer voor later gebruik. Tuinders installeren daarvoor WKK-installaties van 300 tot 400 kW elektrisch vermogen, waardoor er een ruime hoeveelheid CO_2 beschikbaar is.

2.1.1 Grafieken

Onderstaande grafieken tonen de weekverbruiken voor warmte, stroom en CO_2 .



De grafiek met warmteverbruiken door het jaar toont drie lijnen. De eerste (blauw) betreft de warmtevraag voor de referentieteelt waarin gebruik wordt gemaakt van een moderne kas met 1 energiedoek wat intensief gebruikt wordt. Dit intensief gebruik wordt mogelijk gemaakt door een ontvochtigingsinstallatie die buitenlucht aanzuigt en waardoor de vochtige en warme kaslucht door de ramen naar buiten wordt gedrukt. De warmtevraag in deze referentieteelt is 35.4 m^3 aardgas equivalenten per m^2 per jaar.

De warmtevraag van de energiezuinige kas (groene lijn) daalt naar 20.9 m^3 aardgas equivalenten per m^2 per jaar. Deze forse verlaging wordt mogelijk gemaakt door de vermindering van het gebruik van minimumbuis ($5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ jaar), het verhogen van de geaccepteerde luchtvochtigheid ($2.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ jaar), het dubbele scherm ($3.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ jaar) en het gebruik van een verbeterd ontvochtigingssysteem waarbij 75% van het voelbaar warmteverlies bij de ontvochtiging wordt teruggewonnen ($3.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ besparing per jaar).

De rode lijn toont de warmtevraag van een Energiezuinige kas waarin een ontvochtigingssysteem is geplaatst dat niet alleen voelbare warmte, maar ook latente warmte bij de ontvochtiging terug wordt gewonnen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een luchtbehandelingskast waarin de condensatie op een koelblok plaatsvindt. Bij dit condensatieproces wordt de kaslucht niet alleen ontvochtigd, maar ook afgekoeld en omdat in de winter die afkoeling ongewenst is, zal de kaslucht ook weer moeten worden opgewarmd. De behoefte aan verwarming in de luchtbehandelingskast maakt dat de verwarmingsbehoefte van de kas niet afneemt. Sterker nog, de verwarmingsbehoefte neemt toe omdat lucht die op een koelblok is ontvochtigd meestal minder droog is dan buitenlucht. Per gram ontvochtiging moet er dus meer lucht worden ingeblazen en (dus) ook meer lucht worden opgewarmd om de kas op temperatuur te houden. De warmtevraag van de Energiezuinige kas met latente warmteterugwinning bedraagt 23.6 m³ aardgas equivalenten per m² per jaar. Met nadruk staat hier aardgas *equivalenten* omdat bij een kas met ontvochtiging met latente warmte terugwinning de warmtevraag (grotendeels) door een warmtepomp wordt ingevuld. Ondanks het feit dat de warmtevraag toeneemt, neemt de energiebehoefte dus sterk af. Dit komt omdat de verwarmingsbehoefte in dat geval wordt ingevuld door een warmtepomp die $\frac{3}{4}$ van de afgegeven warmte betreft uit duurzame warmte die uit de kas geoogst wordt. $\frac{1}{4}$ van de warmte komt uit elektriciteit en die zien we in de tweede grafiek dan ook oplopen. In de grafieken zit dus feitelijk een dubbeltelling (warmtevraag gaat volgens de grafieken niet omlaag maar de elektriciteitsvraag neemt toe). Dit heeft echter alleen te maken met de representatie van resultaten. In de berekeningen die verderop gedaan zijn is er uiteraard geen sprake van dubbeltellingen.

In hoofdstuk 3 en in hoofdstuk 5 wordt hier verder op ingegaan.

Het elektriciteitsverbruik in de standaard onbelichte tomatenteelt is laag, 15 kWh/(m² jaar). Het is uitsluitend nodig voor het circuleren van water door het verwarmingssysteem, het aandrijven van irrigatie-pompen, de automatisering en het circuleren van lucht in het ontvochtigingssysteem.

In de energiezuinige kas met voelbare en latente warmteterugwinning neemt het stroomverbruik voor de ventilatoren voor de ontvochtiging toe omdat er meer lucht moet worden rondgeblazen bij een wat grotere drukval, maar vooral doordat de warmtepomp stroom nodig heeft. Het elektriciteitsverbruik van een energiezuinige onbelichte tomatenteelt die de verwarming volledig met een warmtepomp invult komt op 60 kWh/m², maar heeft dan ook geen of nauwelijks andere energiebronnen meer nodig.

De CO₂-input in de referentie onbelichte tomatenteelt bedraagt 33 kg/m² per jaar. Deze hoeveelheid is als CO₂-vraag voor alle berekeningen aan de onbelichte tomatenteelt gehanteerd, dus ook voor toekomstige teelten in energiezuinige kassen. Hiermee is gekozen voor het aanhouden van een bovengrens omdat tuinders bij stijgende kosten voor CO₂ (ongeacht of dit komt doordat CO₂ moet worden ingekocht als zuivere CO₂ of doordat CO₂-gebruik (= grotendeels emissie) belast wordt) op grond van een economische afweging minder zullen gaan gebruiken. Ook het feit dat de CO₂-concentratie in de buitenlucht oploopt zal de vraag naar CO₂ verminderen.

2.2 Belichte tomatenteelt

Ook de beschrijving voor een set representatieve instellingen voor de huidige belichte tomatenteelt is besproken met de landelijke tomatencommissie.

De belichte tomatenteelt beslaat op dit moment zo'n 800 ha. Als de andere belichte groenteteelten vergelijkbaar worden gesteld aan de belichte tomatenteelt staat deze teelt model voor 15% van het tuinbouwareaal.

Plant- en ruimdatum: In de belichte tomatenteelt wordt op 7 september geplant en op 1 september geruimd.
Kasdek: Venlo kas met enkel glas en twee kappen van 4 meter op een tralie. De lichttransmissie op gewaskophoogte is, bij geopende scherm, 70%. Dit is iets lager dan voor de onbelichte tomatenteelt (§ 2.1) omdat de lamp-armaturen licht onderscheppen en de toegepaste donkerschermen minder strak opgevouwen kunnen worden.

Verwarmingssysteem:	<p>Er ligt een buisrail systeem met 10 buizen met een diameter van 51 mm in een tralie van 8 meter. Daarnaast hangt er tussen de rijen een groeibuis, bestaande uit 5 buizen van 38 mm per tralie. Het ondernet is begrensd op 65°C en de groeibuis op 50°C. Wanneer er alternatieve energievoorzieningssystemen worden gebruikt (warmtepomp en/of geothermie) wordt het aantal buizen in het ondernet verdubbeld.</p>
Kasklimaatsetpoints:	<p>De eerste zes weken na planten wordt er 20°C overdag en 18.5°C 's nachts aangehouden. Daarna wordt de dagtemperatuur verlaagd naar 18.5°C en wordt er een avond-dip geïntroduceerd op 16°C (van zonon tot middernacht) de rest van de nacht wordt 18°C aangehouden.</p> <p>De ventilatielijn staat overdag 1°C boven de stooklijn en 's nachts 0.5°C boven de stooklijn. Overdag wordt de ventilatielijn 2°C omhoog getrokken in een lichttraject van 300 tot 500 W/m². Tijdens de teeltwisseling staat de verwarming uit.</p> <p>Bij de berekeningen voor de energiezuinige belichte tomatenteelt wordt gebruik gemaakt van temperatuur-integratie waardoor de temperatuur op koude dagen 1°C wordt verlaagd als er in de voorafgaande periode voldoende temperatuur-opbouw heeft kunnen plaatsvinden. Een temperatuur-opbouw vindt plaats door de ventilatielijn 2°C omhoog te leggen en daarmee het ventileren op temperatuur uit te stellen.</p>
Minimumbuis:	<p>Praktijktuinders gebruiken in de nacht een minimumbuis van 40°C en overdag een minimumbuis van 45°C, die overdag wel wordt afgebouwd in een stralingstraject tussen 100 en 250 W/m² (buiten gemeten)). Effectief is de minimumbuis overdag dus vaak uit. In de avond (van zon-onder tot middernacht) wordt geen minimumbuis gebruikt.</p> <p>Bij gebruik van een verdubbeld aantal verwarmingsbuizen moet de instelling voor de minimumbuis temperatuur worden verlaagd om de warmte-input gelijk te houden. De waarden worden dan 29°C 's nachts en 32°C overdag.</p> <p>In de berekeningen voor de energiezuinige tomatenteelt gaat de minimumbuis er helemaal uit.</p>
Luchtvochtigheid:	<p>De kas ventileert op vocht bij een luchtvochtigheid groter dan 82% overdag en 85% 's nachts.</p> <p>In de energiezuinige optie wordt het setpoint 85% overdag en 90% 's nachts.</p>
Scherf:	<p>In de huidige standaard belichte teelt is alleen een lichtafschermingsscherf aanwezig. Dit wordt dus niet overdag gebruikt. Het lichtafschermingsscherf wordt 's nachts gesloten als het buiten kouder is dan 15°C of als de belichting 's nachts aan gaat.</p> <p>Er wordt een vocht kier in het scherm getrokken (max. 4% open) als de luchtvochtigheid boven de 87% RV komt.</p> <p>In de energiezuinige optie komt er een tweede scherm bij, een energiescherf. Dit wordt 's nachts samen met het eerste scherm gesloten als het kouder is dan 14°C. Overdag wordt het scherm gesloten gehouden bij dezelfde licht-buitentemperatuur combinatie als voor het tweede scherm in de onbelichte teelt is beschreven. Dit tweede scherm gaat dus bij 5°C buitentemperatuur bij het eerste licht open. Bij -4°C gaat het scherm pas boven 150 W/m² open. Tusseliggende waarden worden geïnterpoleerd.</p>
Belichting:	<p>In de huidige belichte teelt is de SON-T lamp de standaard. De moderne varianten daarvan hebben een lichtomzettingsefficiëntie van 1.85 µmol/J, zodat de toegepaste 200 µmol/(m² s) een elektrisch vermogen van 110 W/m² vergt.</p> <p>De lampen worden vanaf het begin van de teelt overdag aangezet als er minder dan 150 W/m² straling is en branden dan tot een uur voor zonsondergang.</p> <p>In de eerste week van oktober gaan de lampen dan 's ochtends om 04:00 weer aan. De daarop volgende weken steeds een uur eerder totdat uiteindelijk de belichting om middernacht aan gaat. In de rest van de winterperiode branden de lampen maximaal 18 uur per dag.</p>

Vanaf 1 april tot het einde van de teelt worden de lampen niet meer gebruikt.

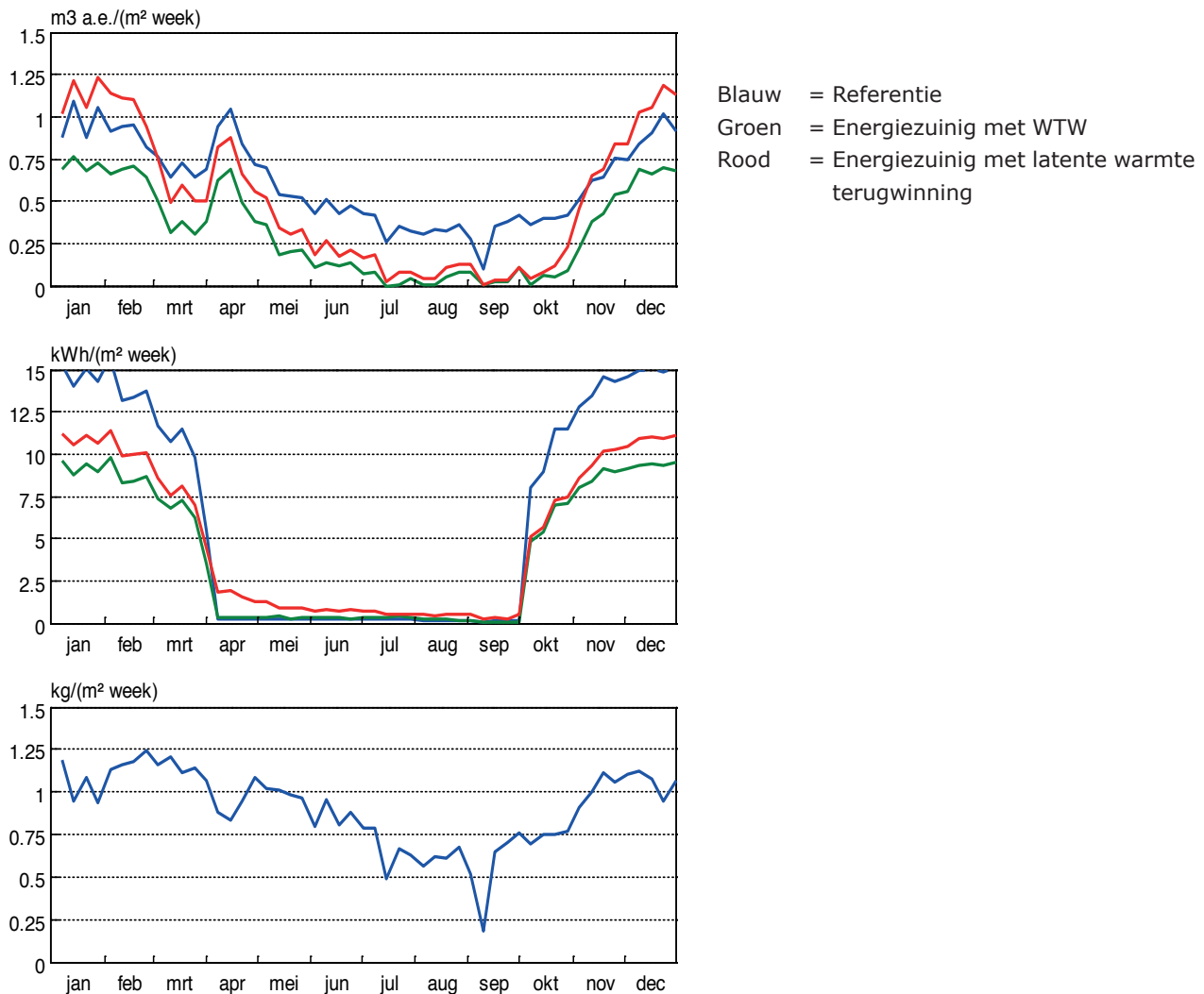
In de energiezuinige optie blijven de belichtingsintensiteit en het aantal gebruiksuren gelijk, maar wordt gebruik gemaakt van LED. Op dit moment is een conversie-efficiëntie van 2.7 $\mu\text{mol/J}$ gangbaar, maar er zijn ook al LED-modules met een efficiëntie van 3.3 $\mu\text{mol/J}$ op de markt. In dit rapport wordt daarom 3.0 $\mu\text{mol/J}$ gehanteerd, waardoor de nu gebruikelijke 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ geproduceerd kan worden met 67 W/ m^2 elektriciteit. De elektriciteitsvraag in de belichte tomatenteelt is groot en daarom wordt er in de huidige praktijk veelvuldig gebruik gemaakt van WKK. De WKK levert stroom voor de belichting en/of levering aan het openbare net en CO_2 voor de invulling van de CO_2 -behoefte. De warmte uit de WKK wordt gebruikt voor de verwarming, al dan niet na tussenkomst van een buffer.

Het geïnstalleerde WKK vermogen is 500 kW elektrisch per ha. Dit groot WKK-vermogen dat ook in de zomer wordt ingeschakeld voor de levering van stroom aan het openbare net maakt dat er in de belichte tomatenteelt veel CO_2 wordt gedoseerd (§ 0).

WKK:

2.2.1 Grafieken

Onderstaande grafieken tonen de weekverbruiken voor warmte, stroom en CO_2 in de belichte tomatenteelt.



Ook hier zijn weer drie grafieken met warmteverbruiken getekend. De onderlinge verhoudingen van de lijnen roepen waarschijnlijk vragen op die echter goed te verklaren zijn.

De lijn voor de referentieteelt (blauw) heeft een matig warmteverbruik in de winter (0.9 tot $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per week) en een duidelijk verbruik in de zomer, wat gerelateerd is aan het gebruik van minimumbuis op het ondernet. De jaarlijkse warmtevraag van de referentieteelt is $31.9 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Dit is wat lager dan bij de onbelichte tomatenteelt is genoemd, wat komt doordat de warmte van de lampen een deel van de verwarmingsbehoefte levert.

De groene lijn geldt voor de energiezuinige teelt, waarvoor het kasklimaatmodel een warmtevraag van slechts $16.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ berekent. De grote warmtebesparing, in totaal $15.1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$, komt vooral door de toepassing van een verbeterd ontvochtigingssysteem, namelijk het systeem dat via een lucht/lucht wisselaar 75% van de voelbare warmte die bij de ontvochtiging naar buiten wordt geblazen terugwint. Deze warmteterugwinning levert een besparing van $11.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per jaar.

De rode lijn toont weer de warmtevraag van een energiezuinige kas waarin de ontvochtiging plaatsvindt op een koelblok in een luchtbehandelingskast. In een belichte teelt is de ontvochtigingsbehoefte groot en zal er dus veel lucht langs het koelblok moeten worden geleid en dus ook veel lucht weer moeten worden naverwarmd. De warmte die voor die naverwarming nodig is is vergelijkbaar met de warmte die in het eerder genoemde systeem met het WTW-apparaat werd bespaard. De warmtevraag van de energiezuinige kas met latente warmteterugwinning komt daarmee op 26.5 m^3 aardgas equivalenten per m^2 kas. Ook hier is de warmtevraag weer uitdrukkelijk in m^3 aardgas *equivalenten* uitgedrukt omdat uit berekeningen blijkt dat het grootste deel van de verwarmingsbehoefte kan worden ingevuld met de warmte die aan het koelblok wordt onttrokken. De (grotere) warmtevraag wordt dan geleverd door een warmtepomp die naast de warmte ook de koude voor de ontvochtiging op het koelblok produceert.

Het elektriciteitsverbruik van deze warmtepomp is terug te zien in de verhoogde elektriciteitsvraag van de kas met latente warmteterugwinning (rode lijn) in vergelijking met de elektriciteitsvraag van de energiezuinige kas met WTW-apparaat (groene lijn). De jaarverbruiken zijn respectievelijk 260 en 212 kWh/ m^2 per jaar. De verbruiken van de beide energiezuinige kassen zijn echter hoe dan ook lager dan dat van de referentiekas, die 340 kWh/ $(\text{m}^2 \text{ jaar})$ verbruikt.

De CO_2 -input in de belichte tomatenteelt die als referentie gebruikt wordt bedraagt $46 \text{ kg}/\text{m}^2$ per jaar. Ok hier is deze hoeveelheid als CO_2 -vraag voor alle berekeningen aan de belichte tomatenteelt gehanteerd, dus ook voor toekomstige teelten in energiezuinige kassen. Dit is dus weer een bovengrens (zie discussie bij § 2.1.1, (pag. 2)). Bij hogere prijzen voor CO_2 (-emissie) in de toekomst zullen tuinders zeker minder CO_2 gaan gebruiken.

2.3 Belichte Chrysantenteelt

De instellingen die gehanteerd worden voor de berekeningen aan de chrysantenteelt zijn ontleend aan gesprekken met tuinders die betrokken zijn bij het project de Perfecte chrysant. Het chrysantenareaal beslaat 400 ha, maar als wordt gesteld dat gewassen zoals gerbera, Lelies en Anthurium in zekere zin vergelijkbaar zijn met Chrysant dan staat deze teelt model voor 24% van het tuinbouwareaal.

- | | |
|---------------------|--|
| Teelt: | De chrysant is een jaarrondteelt, waarbij in een periode van 10 weken de cyclus van stek tot oogst wordt doorlopen. |
| Kasdek: | Venlo kas met enkel glas en twee kappen van 4 meter op een tralie. De lichttransmissie op gewashoogte is, bij geopende schermen, 68%. Dit is lager dan bij de gemiddelde groentekas omdat het verwarmingsnet en sproeileidingen bovenin de kas hangen. |
| Verwarmingssysteem: | <p>De chrysantenteelt heeft het primaire verwarmingsnet boven het gewas hangen, waar het tevens dienst doet als service rail voor de spuitboom en andere intern transport systemen. Het verwarmingsnet bestaat uit 6 buizen van 57 mm in een tralie van 8 meter. Daarnaast ligt er een verwarmingsnet bestaande uit 10 buizen van 28 mm in het gewas. Dit gewasverwarmingsnet is begrensd op 35°C en wordt vooral als minimumbuis-net gebruikt (zie verderop).</p> <p>In de berekeningen met alternatieve energievoorzieningen is het bovennet verruimd naar 10 buizen van 57 mm.</p> |

Kasklimaatsetpoints:	<p>De chrysantenteelt kent een heel vlak stookpatroon; 18°C 's nachts en 19°C overdag. De ventilatielijn staat overdag 2°C boven de stooklijn en 's nachts 1°C boven de stooklijn. Overdag wordt de ventilatielijn 2°C omhoog getrokken in een lichttraject van 300 tot 500 W/m².</p> <p>En de energiezuinige optie wordt gebruik gemaakt van temperatuur-integratie waardoor de temperatuur op koude dagen een graad wat mag wegzakken als er in de periode daaraan voorafgaand enige temperatuur-opbouw heeft kunnen plaatsvinden.</p>
Minimumbuis:	<p>Praktijktuinders maken veelvuldig gebruik van een minimumbuis temperatuur in het gewasverwarmingsnet maar omdat het VO in dit net klein is blijft de hoeveelheid warmte die hier in gaat zitten beperkt. 's Nachts bedraagt de minimumbuis 30°C en overdag 35°C. Overdag wordt de minimumbuis afgebouwd in een stralingstraject tussen 100 en 250 W/m² (buiten gemeten)).</p> <p>In de energiezuinige optie wordt geen standaard minimumbuis toegepast.</p>
Luchtvochtigheid:	<p>De kas ventileert op vocht bij een luchtvochtigheid groter dan 85% (dag en nacht) In de energiezuinige optie wordt het setpoint op 88% gezet. Bovendien worden er dan optioneel ook andere ontvochtigingssystemen gebruikt, zoals ontvochtiging met voelbare warmterugwinning of een intern ontvochtigingssysteem (condensatie op een koud oppervlak).</p>
Scherf:	<p>In de chrysantenteelt is er altijd een verduisteringsscherf aanwezig. Dit wordt om 18:00 gesloten en 's ochtends om 06:00 weer geopend. Eigenlijk heeft alleen het gedeelte van de kas dat in de korte dag fase zit die gegarandeerde donkerperiode nodig, maar omdat de scherm-vakken in de regel veel groter zijn dan de teeltvakken heeft de tuinder de keus niet om slechts hier en daar de kas te verduisteren. Bovendien beslaat de korte-dag fase van de teelt zo'n 80% van de teeltduur dus loont het niet om de schermen zodanig bestuurbaar te maken dat deze in de zomer op 20% van het bedrijf open kunnen blijven om aan de randen van de dag meer licht toe te laten aan de planten die nog in de lange dag fase zitten.</p> <p>In de energiezuinige optie komt er een tweede scherm bij, een energiescherf. Dit wordt 's nachts samen met het verduisteringsscherf gesloten als het kouder is dan 14°C. Overdag wordt het scherm gesloten gehouden bij dezelfde licht-buitemtemperatuur combinatie als voor het tweede scherm in de belichte tomatenteelt wordt gehanteerd. Dit tweede scherm gaat dus bij 5°C buitemtemperatuur bij het eerste licht open. Bij -4°C gaat het scherm pas boven 150 W/m² open en tussenliggende waarden worden geïnterpoleerd.</p>
Belichting:	<p>In de huidige chrysantenteelt is de SON-T lamp de standaard. De moderne varianten daarvan hebben een lichtomzettingsefficiëntie van 1.85 µmol/J, zodat de toegepaste 130 µmol/(m² s) een elektrisch vermogen van 70 W/m² vraagt.</p> <p>De lampen worden van 1 september tot 1 april overdag aangezet als er minder dan 150 W/m² straling is. In de gedeelten van de kas waar het gewas in de korte-dag fase zit wordt belicht tussen 06:30 en 17:30 (max 11 uur). In de kas-delen die in de lange dag fase zit wordt belicht van middernacht tot 17:30 (max 17.5 uur).</p> <p>In de energiezuinige optie blijven de belichtingsintensiteit en het aantal gebruiksuren gelijk, maar wordt gebruik gemaakt van LED. Op dit moment is een conversie-efficiëntie van 2.7 µmol/J gangbaar, maar er zijn ook LED-modules met een efficiëntie van 3.3 µmol/J op de markt. In dit rapport wordt een gemiddelde waarde van 3.0 µmol/J gehanteerd, waardoor de nu gebruikelijke 130 µmol/(m² s) geproduceerd kan worden met 43 W/m² elektriciteit.</p>

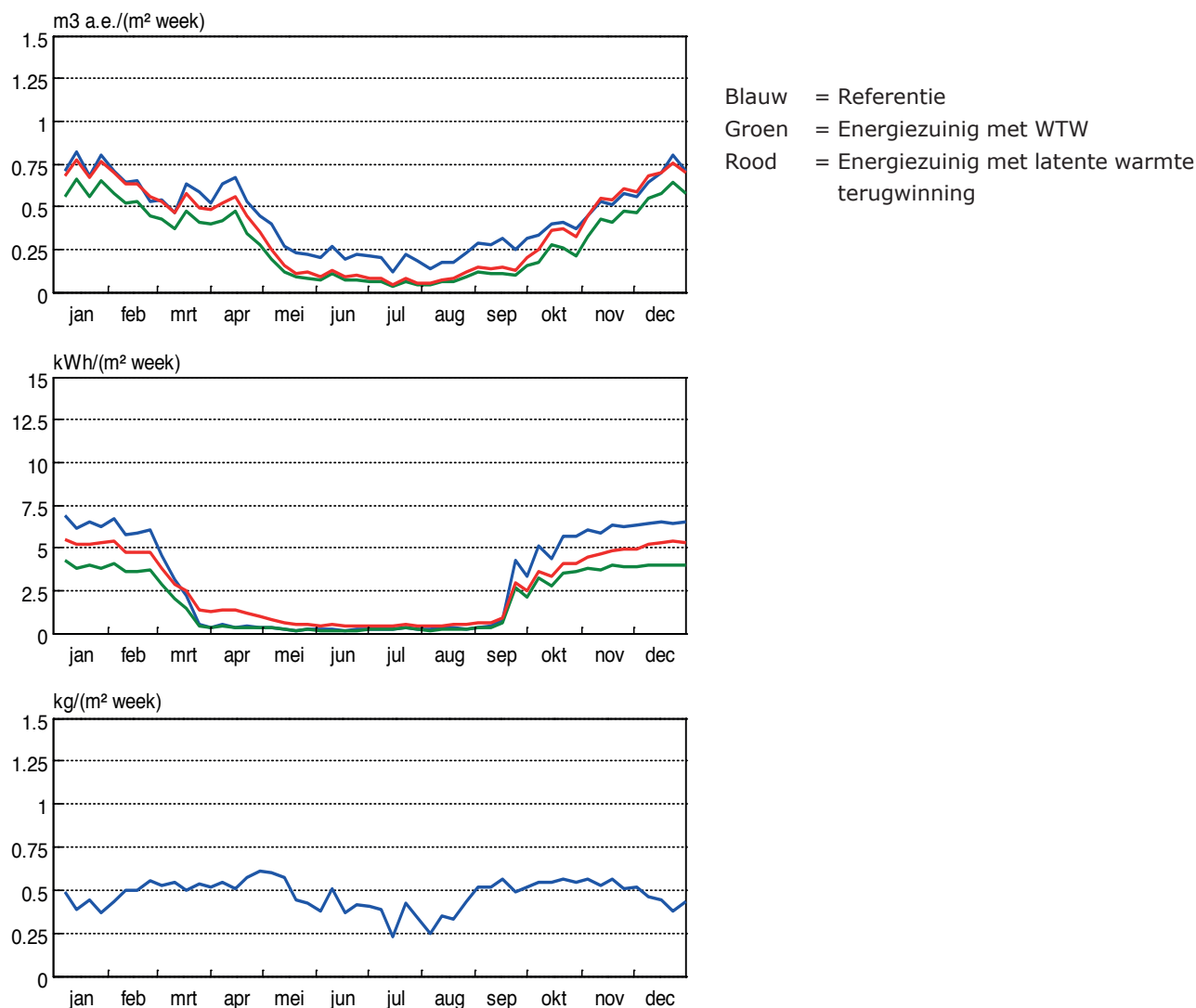
WKK:

De elektriciteitsvraag in de chrysantenteelt is substantieel en daarom wordt er in de huidige praktijk veelvuldig gebruik gemaakt van WKK. De WKK levert stroom voor de belichting en/of levering aan het openbare net en CO₂ voor de invulling van de CO₂-behoefte. De warmte uit de WKK wordt gebruikt voor de verwarming, al dan niet na tussenkomst van een buffer.

Het geïnstalleerde WKK vermogen is in de praktijk 300 tot 400 kW elektrisch per ha en in dit project is met 300 kW gerekend.

2.3.1 Grafieken

Onderstaande grafieken tonen de weekverbruiken voor warmte, stroom en CO₂.



De energiebehoefte, zowel voor warmte als voor elektriciteit is in de chrysantenteelt fors minder dan in de groententeelt. En omdat de beschikbaarheid van CO₂ door deze lagere energievraag kleiner is geven Chrysantentelers ook minder CO₂ dan in de groententeelt.

De blauwe lijnen tonen de referentieteelt. De warmtevraag is in de referentieteelt $22.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$. In de energiezuinige kas daalt deze naar $14.4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per jaar. Bij gebruik van een ontvochtigingssysteem dat overtollig vocht met behulp van een koelblok aan de kaslucht onttrekt neemt de warmtevraag toe naar 20.5 m^3 aardgas equivalenten. Deze toename van de warmtevraag komt doordat met de condensatie van vocht op een koud koelblok de kaslucht wordt afgekoeld en daarna weer moet worden opgewarmd. Dat dit proces toch energiezuinig genoemd kan worden komt omdat de hoeveelheid energie die op het koelblok geoogst wordt altijd groter is dan de warmte die voor de naverwarming nodig. Met de ontvochtiging wordt dus warmte geoogst die voor de verwarming van de kas kan worden gebruikt. Dit proces wordt aangedreven met een warmtepomp en daarom is het elektriciteitsverbruik in geval met een koelblok ontvochtigd wordt groter dan in geval er met een WTW-apparaat met buitenlucht gekoeld wordt. De groene lijn in de grafiek met elektriciteitsverbruiken geeft een jaarverbruik van $98 \text{ kWh}/\text{m}^2$ en bij gebruik van een warmtepomp is het jaarverbruik $134 \text{ kWh}/\text{m}^2$ per jaar (maar is er nauwelijks nog een additionele warmtevraag).

In de referentiekas bedraagt het jaarlijkse stroomverbruik $154 \text{ kWh}/\text{m}^2$ per jaar, wat een stuk hoger is vanwege het gebruik van SON-T lampen in plaats van LED.

De CO_2 -vraag in de chrysantenteelt wordt gesteld op $25 \text{ kg}/\text{m}^2$ per jaar. Ook hier moet dit als een bovengrens worden gezien (zie discussie bij § 2.1.1, (pag. 2)).

Bij hogere prijzen voor CO_2 (-emissie) in de toekomst zullen chrysantentuinders zeker minder CO_2 gaan gebruiken.

2.4 Belichte Alstroemeriateelt

De instellingen die gehanteerd worden voor de berekeningen aan de Alstroemeriateelt zijn gebaseerd op de discussies in de BCO van het project 'Alstroemeria: teelt van de toekomst, dichtbij'. Alstroemeria is een klein gewas (30 ha), maar is de laatste jaren sterk in ontwikkeling en verdient daardoor extra aandacht. De verbruiksprofielen van de Alstroemeria staan model voor 7% van de sector.

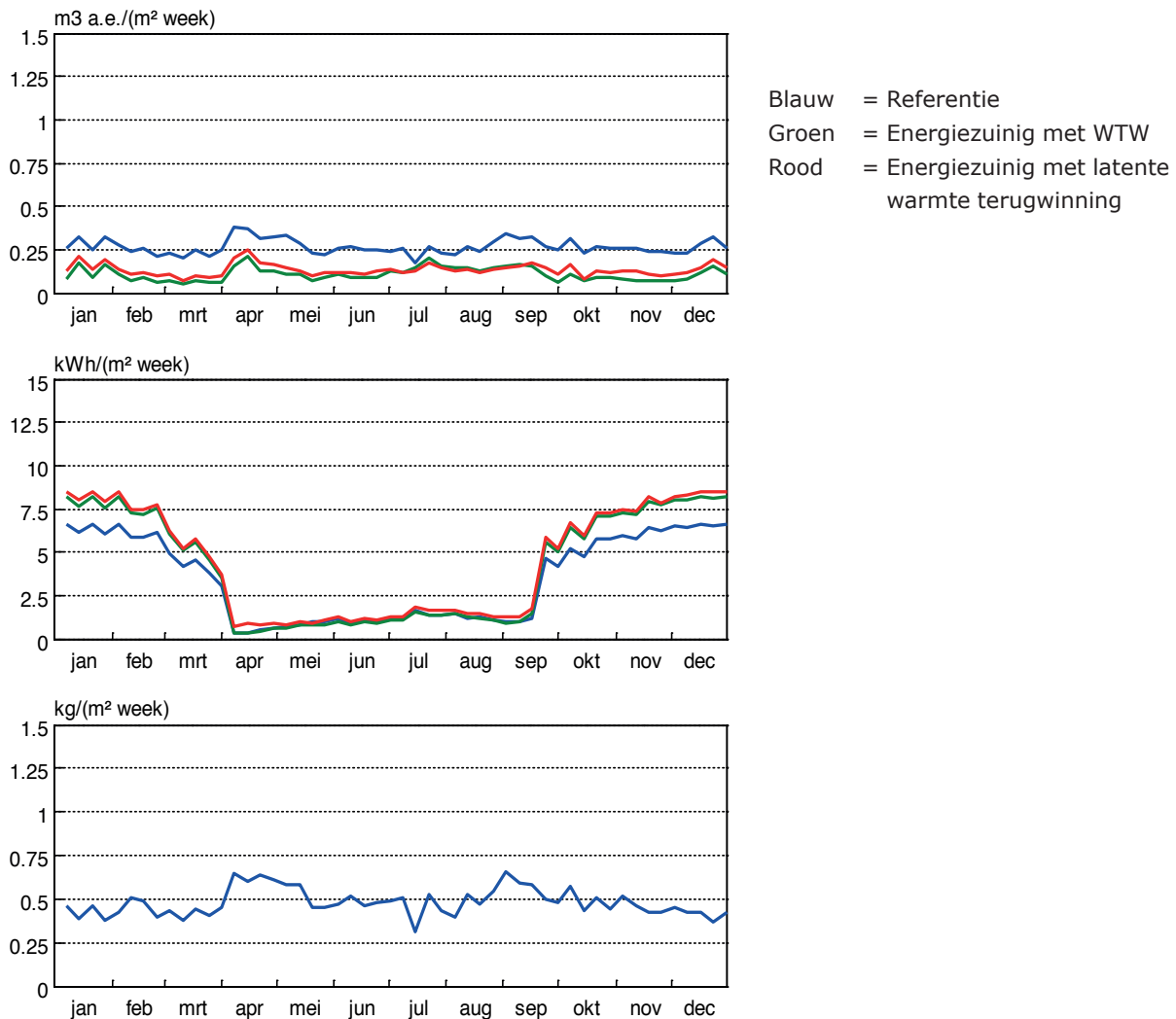
Teelt:	Alstroemeria is een meerjarig gewas dat al gauw na planten een continue productie aan bloem-takken oplevert.
Kasdek:	Venlo kas met enkel glas en twee kappen van 4 meter op een tralie. De lichttransmissie op gewashoogte is, bij geopende schermen, 68%.
Verwarmingssysteem:	<p>In de Alstroemeriateelt vindt de verwarming plaats met een buisrail-systeem. Het is geen hoog-opgaand gewas dus er hoeven geen zware buisrailkarren over de buizen te rijden, waardoor de buisdiameter klein kan worden gehouden. Er wordt voor de standaardsituatie gerekend met 10 38 mm buizen per 8 meter tralie. Er is geen secundair verwarmingsnet.</p> <p>In de berekeningen met alternatieve energievoorzieningen wordt het buisrailnet verruimd naar 10 buizen van 51 mm om met een groter VO te kunnen verwarmen.</p>
Kasklimaatsetpoints:	<p>De Alstroemeria wordt relatief koud geteeld. De stooklijn staat op 14°C. De ventilatielijn staat overdag op 18°C en 's nachts op 16°C. De stook- en ventilatielijnen worden wel op straling verhoogd, 2°C over een stralingstraject van 200 tot $500 \text{ W}/\text{m}^2$ globale straling.</p> <p>In de energiezuinige optie wordt gebruik gemaakt van temperatuur-integratie waardoor de temperatuur op koude dagen twee graden mag wegzakken als er in de periode daaraan voorafgaand voldoende temperatuur-opbouw heeft kunnen plaatsvinden.</p>

Minimumbuis:	<p>Er wordt geen standaard-minimumbuis aangehouden, maar als de luchtvochtigheid in de kas stijgt wordt er wel een minimumbuis gehanteerd. Over een luchtvochtigheid van 87 naar 90% wordt een minimumbuis temperatuur ingesteld van 30 naar 40°C. De warmte-input zorgt ervoor dat het onderin het gewas niet te vochtig wordt. In de opties waarin alternatieve warmtebronnen worden gebruikt, en dus de buisdiameter van het ondernet is vergroot, wordt de vocht-afhankelijke minimumbuis over het genoemde vochttraject opgebouwd van 25 naar 35°C. In de energiezuinige optie wordt een hogere luchtvochtigheid geaccepteerd en wordt er dus nauwelijks nog van een minimumbuis gebruik gemaakt.</p>
Luchtvochtigheid:	<p>De kas ventileert op vocht bij een luchtvochtigheid groter dan 85% (dag en nacht) In de energiezuinige optie wordt het setpoint op 88% gezet.</p>
Schermbuis:	<p>Omdat er in de Alstroemeria belichting wordt toegepast is er een licht-afschermingsschermbuis aanwezig. Dit wordt 's nachts tijdens belichtingsuren gesloten, maar tijdens koude nachten (<10°C) ook als er in de avond nog niet belicht wordt. Tijdens koude ochtenden en middagen (< 6°C) wordt het licht-afschermingsschermbuis ook gesloten als er minder dan 10 W/m² globale straling is. Is het nog kouder (-5°C), dan wordt het scherm gesloten (gehouden) tot een globale stralingsintensiteit van 80 W/m². Bij tussenliggende temperaturen wordt het stralingscriterium geïnterpoleerd tussen de bovengenoemde punten.</p> <p>In de energiezuinige optie komt er een tweede scherm bij, een energieschermbuis. Dit wordt 's nachts gesloten als het kouder is dan 12°C. Overdag gaat het tweede scherm bij 10°C buitentemperatuur bij het eerste licht open. Bij -5°C gaat het scherm pas boven 150 W/m² open en tussenliggende waarden worden geïnterpoleerd. Omdat in dit geval het energieschermbuis wél licht doorlaat en het licht-afschermingsschermbuis niet, wordt bij beschikbaarheid van zo'n tweede scherm het licht-afschermingsschermbuis altijd opengetrokken zodra er meer dan 10 W/m² globale straling wordt gemeten.</p>
Belichting:	<p>In de huidige belichte teelt is de SON-T lamp de standaard. De moderne varianten daarvan hebben een lichtomzettingsefficiëntie van 1.85 µmol/J. In de Alstroemeriateelt neemt de belichtingsintensiteit de laatste jaren gestaag toe. Was een paar jaar geleden 50 tot 60 µmol/(m² s) een gangbare waarde, nu is dat 80 µmol/(m² s), maar 100 µmol/(m² s) komt ook voor. In de referentie-berekeningen wordt daarom 100 µmol/(m² s) gehanteerd. Met de genoemde efficiëntie betekent dit een elektrisch vermogen van 54 W/m².</p> <p>De lampen worden van 15 september tot 1 april overdag aangezet als er minder dan 150 W/m² straling is. De maximale belichtingsduur is 17 uur per dag, dus de lampen staan 7 uur per dag uit. Het moment van inschakelen van de lampen wordt zodanig gekozen dat het gewas aan een natuurlijke overgang van dag naar nacht wordt blootgesteld. Dit betekent dat de lampen 17 uur voor zonsondergang aan gaan. In november, december en januari betekent dit dat de lampen even voor middernacht aan gaan. In september, oktober, februari en maart gaan de lampen even na middernacht aan.</p> <p>In de energiezuinige optie blijft het aantal gebruiksuren gelijk, maar wordt gebruik gemaakt van LED. Op dit moment is een conversie-efficiëntie van 2.7 µmol/J gangbaar, maar er zijn ook al LED-modules met een efficiëntie van 3.3 µmol/J op de markt. In dit rapport wordt daarom 3.0 µmol/J gehanteerd.</p> <p>De Alstroemeriatuinders waarmee gesproken is verwachten dat bij een toenemende efficiëntie van de lampen eerder de belichtingsintensiteit zal worden verhoogd dan dat de verbeterde efficiëntie wordt gebruikt om het elektriciteitsverbruik te verlagen. Daarom wordt in het Energiezuinige scenario uitgegaan van 200 µmol/(m² s) LED belichting die dus 67 W/m² elektriciteit zal gebruiken. Net zoveel als de tomatenteelt dus, maar wel minder uren per jaar.</p>

Grondkoeling:	<p>Om de bloem-aanleg te stimuleren moet de worteltemperatuur van de Alstroemeria laag worden gehouden. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van grondkoeling. De grondkoeling houdt de worteltemperatuur onder de 15°C. Iets boven de stooklijn dus en dat betekent dat in de winter de grondkoeling meestal uit staat, maar vanaf maart/april tot september een min of meer constante koeling van de bodem rond de wortels nodig is. In de referentiesituatie wordt hiervoor een koelmachine gebruikt die de onttrokken warmte direct aan de buitenlucht afgeeft. De koel-energie kan daarmee niet worden hergebruikt.</p> <p>In de energiezuinige optie wordt in de eerste plaats de behoefte aan grondkoeling verminderd omdat er wordt overgestapt naar een substraat-teelt in polystyreen bakken. Deze bakken leveren isolatie waardoor het substraat rond de wortels minder gekoeld hoeft te worden. Het substraat-systeem geeft daarnaast ook nog een besparing op de behoefte aan hoogwaardige warmte omdat het stomen van de grond daarmee overbodig wordt. In de grondgebonden referentieteel wordt de bodem eens in de 6 jaar (bij een teeltwisseling) gestoomd en dit stomen vergt dan 6 m³ aardgas per m² per keer, wat dus gemiddeld 1 m³/(m² jaar) betekent.</p> <p>Daar waar in de alternatieve energiesystemen een warmtepomp is opgenomen wordt gekeken in hoeverre de warmte die bij de grondkoeling vrij komt gebruikt kan worden voor de verwarming van de kas op andere momenten. In dat geval draagt de nieuwe benadering van de grondkoeling dus op drie manieren bij aan een duurzame warmtevoorziening (verminderen van de koelvraag, wegnemen van de stoom-behoefte en invulling van de warmtevraag met afvalwarmte uit de koeling).</p>
WKK:	<p>De elektriciteitsvraag in de Alstroemeriateelt is substantieel en daarom wordt er in de huidige praktijk veelvuldig gebruik gemaakt van WKK. De WKK levert stroom voor de belichting, en koeling en/of levering aan het openbare net en CO₂ voor de invulling van de CO₂-behoefte. De warmte uit de WKK wordt gebruikt voor de verwarming, al dan niet na tussenkomst van een buffer.</p> <p>Het geïnstalleerde WKK vermogen in de referentiesituatie is 200 kW elektrisch per ha. Kleiner dan bij de andere teelten omdat de warmtevraag in de Alstroemeriateelt veel kleiner is.</p>

2.4.1 Grafieken

Onderstaande grafieken tonen de weekverbruiken voor warmte, stroom en CO₂.



De energiebehoefte voor warmte is in de Alstroemeri-teelt erg laag, maar de belichting zorgt voor een duidelijke elektriciteitsvraag. De beschikbaarheid van WKK maakt dat Alstroemeriatuinders ook nog een behoorlijke hoeveelheid CO₂ doseren.

De blauwe lijnen tonen de referentieteel. De warmtevraag is in de referentieteel 13.8 m³/(m² jaar). In de energiezuinige kas daalt deze naar 5.6 m³/m² per jaar. Bij gebruik van een ontvochtigingssysteem dat overtollig vocht met behulp van een koelblok aan de kaslucht onttrekt neemt de warmtevraag toe naar 6.7 m³ aardgas equivalenten, maar daar staat natuurlijk tegenover dat met het condenseren van vocht op het koelblok de latente (en voelbare) warmte beschikbaar komt voor de verwarming. Omdat de warmtevraag klein is, is de capaciteit van de ontvochtiging op het koelblok ook klein en blijft de additionele warmtevraag door het gebruik van zo'n ontvochtigingssysteem beperkt.

In tegenstelling tot de berekeningen aan andere belichte teelten in dit rapport is het elektriciteitsverbruik voor de energiezuinige teelt hoger dan voor de referentieteel. Dat komt omdat voor de Alstroemeri-teelt van een forse verhoging van de intensiteit van de belichting is uitgegaan. In de referentiekas bedraagt het jaarlijkse stroomverbruik 182 kWh/m² per jaar, wat een beetje lager is dan in de Energiezuinige situatie, waar 220 kWh/m² per jaar wordt gebruikt. De lichtsom is in de Energiezuinige teelt echter 300 mol PAR-licht per m² hoger. Het stroomverbruik in de zomer komt door de koelmachine voor de grondkoeling.

De CO₂-vraag in de Alstroemeriateelt wordt gesteld op 25 kg/m² per jaar. Ook hier moet dit als een bovengrens worden gezien (zie discussie bij § 2.1.1, (pag. 2)). Bij hogere prijzen voor CO₂ (-emissie) in de toekomst zullen Alstroemeriatuinders minder CO₂ gaan gebruiken.

2.5 Warme potplantenteelt

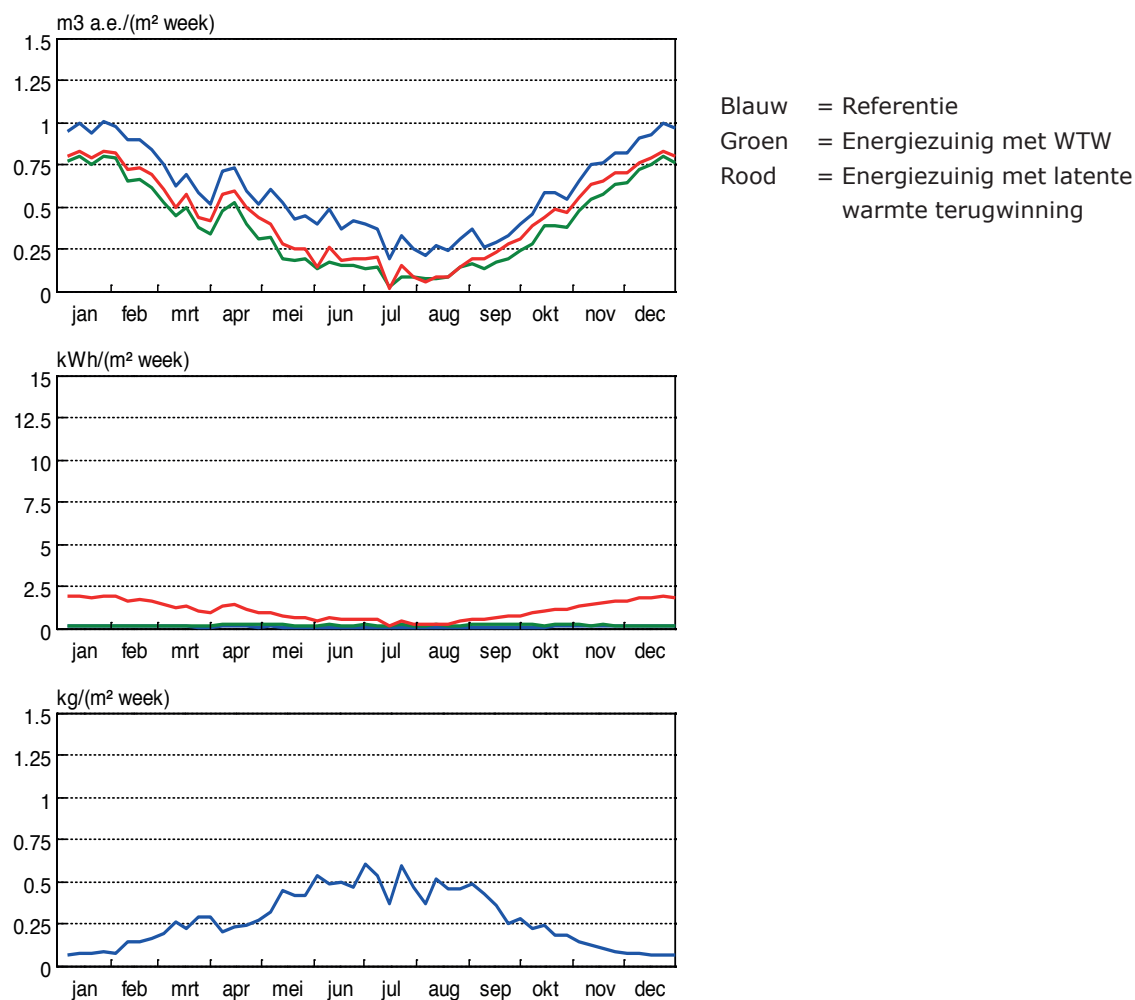
De warme potplantenteelt staat model voor een grote verzameling aan kleine sierteeltgewassen met weinig of geen belichting, maar waar de kassen op kamertemperatuur worden gehouden. Dit deel van de sector beslaat zo'n 14% van het areaal.

Teelt:	Potplanten worden in de regel jaarrond geteeld op tafels of op eb/vloed vloeren.
Kasdek:	Een dubbelwandig polycarbonaat kasdek en twee kappen van 4 meter op een tralie. De lichttransmissie op gewashoogte is, bij geopende schermen, 62%.
Verwarmingssysteem:	<p>In de potplanten wordt op tafels geteeld of op eb/vloed vloeren. Onder tafels kan enige verwarming zijn aangebracht, maar onder eb/vloed vloeren in het geheel niet, dus bij de potplantenteelt is het bovennet het belangrijkste net. Er wordt hier uitgegaan van 5 buizen van 65 mm in een 8 meter tralie.</p> <p>In de berekeningen met alternatieve energievoorzieningen wordt uitgegaan van de teelt op tafels en wordt er een extra verwarmingsnet onder de tafels aangebracht, bestaande uit 10 51-ers per 8 meter tralie. De temperatuur hiervan wordt begrensd op 40°C zodat het bovennet nog wel nodig blijft. Dit kan dan echter worden verkleind naar 4 buizen van 65 mm per 8 meter tralie.</p>
Kasklimaatsetpoints:	<p>In de potplantenteelt worden de nachten warm gehouden (20°C). De stooklijn is overdag 2°C hoger, maar de ventilatielijn staat overdag 4°C boven de stooklijn, waardoor er een automatische koppeling ontstaat tussen licht-aanbod en etmaaltemperatuur.</p> <p>In de energiezuinige optie wordt daar bovenop gebruik gemaakt van temperatuur-integratie waardoor de temperatuur op koude dagen 2 graden mag wegzakken als er in de periode daaraan voorafgaand voldoende temperatuur-opbouw heeft kunnen plaatsvinden.</p>
Minimumbuis:	Er wordt geen standaard-minimumbuis aangehouden.
Luchtvochtigheid:	De kas ventileert op vocht bij een luchtvochtigheid groter dan 85% (dag en nacht) In de energiezuinige optie wordt het setpoint op 88% gezet.
Scherf:	<p>Potplanten zijn in de regel schaduwminnend zodat potplantentelers intensief gebruik maken van het schaduw scherm. Er wordt uitgegaan van een scherm bestaande uit afwisselend aluminium en open bandjes wat een 50% schaduwfactor geeft. Boven de 500 W/m² straling wordt dit scherm voor 60% gesloten. Boven de 600 W/m² 80% en boven de 700 W/m² is het schaduw scherm volledig dicht.</p> <p>Als het buiten kouder is dan 13°C gaat het scherm ook 's nachts dicht om de uitstraling vanuit het gewas te beperken.</p> <p>In de energiezuinige optie wordt er transparant energiedoek als tweede scherm bijgeplaatst. Dit wordt gesloten als het 's nachts kouder is dan 15°C. Als het kouder is dan 12°C gaat het transparante scherm open bij 20 W/m² buitenstraling en als het 4°C gaat het scherm bij 80 W/m² straling open. Tusseliggende waarden worden geïnterpoleerd. Is het nóg kouder, 0°C, dan wordt het criterium voor het openen van het scherm nog verder opgerekt, naar 150 W/m².</p>

WKK: Omdat de warme potplantenteelt een relatief hoge warmtevraag heeft hebben veel potplantentelers een WKK. Deze draait voornamelijk overdag t.b.v. de verkoop van elektriciteit. De daarbij vrijkomende CO₂ wordt voor de CO₂-dosering gebruikt. Het geïnstalleerde WKK vermogen is vanwege de hoge warmtevraag in de referentiesituatie 400 tot 500 kW elektrisch per ha.

2.5.1 Grafieken

Onderstaande grafieken tonen de weekverbruiken voor warmte, stroom en CO₂.



In de grafiek met warmteverbruiken toont de blauwe lijn de warmtevraag voor de referentieteeelt. De referentieteeelt gebruikt op jaarbasis 30.9 m³/m². De warmtevraag van de energiezuinige kas (groene lijn) is met 20.3 m³ aardgas equivalenten per m² per jaar een flink stuk lager. Deze forse verlaging komt door de temperatuurintegratie (1.5 m³/m² jaar), het verhogen van de geaccepteerde luchtvochtigheid (2 m³/m² jaar), het extra scherm (2.5 m³/m² jaar) en het gebruik van het WTW-apparaat (4.3 m³/m² besparing per jaar).

De rode lijn toont de warmtevraag van een energiezuinige kas waarin de ontvochtiging plaatsvindt door condensatie op een koelblok. Hierdoor wordt de kaslucht niet alleen ontvochtigd, maar ook gekoeld, waardoor er een naverwarmingsvraag ontstaat. Hierdoor is de warmtevraag van de kas bij gebruik van zo'n ontvochtigingssysteem hoger. Het jaarverbruik dat bij de rode lijn hoort bedraagt 23.3 m³ aardgas equivalenten per m² per jaar. Er wordt hier van aardgas *equivalenten* gesproken omdat bij een kas met ontvochtiging met latente warmte terugwinning de warmtevraag (grotendeels) door een warmtepomp wordt ingevuld. Ondanks het feit dat de warmtevraag toeneemt, neemt de energiebehoefte dus af. Dit komt omdat de verwarmingsbehoefte in dat geval wordt ingevuld door een warmtepomp die $\frac{3}{4}$ van de afgegeven warmte betreft uit duurzame warmte die uit de kas geoogst wordt. $\frac{1}{4}$ van de warmte komt uit elektriciteit en het elektriciteitsverbruik van een kas met een warmtepomp loopt dan ook op naar 55 kWh/m² per jaar (rode lijn in tweede grafiek). In de referentieteel is deze slechts 8 kWh/(m² jaar).

De CO₂-input in de potplantenteelt is laag 14 kg/m² per jaar. Deze hoeveelheid wordt ook voor toekomstige teelten in energiezuinige kassen verondersteld. Feitelijk moet dit als bovengrens gezien worden omdat het aannemelijk is dat tuinders bij stijgende kosten voor CO₂ (-emissie) minder zullen gaan gebruiken. Ook een hogere CO₂ concentratie in de buitenlucht zal een kleinere vraag opleveren.

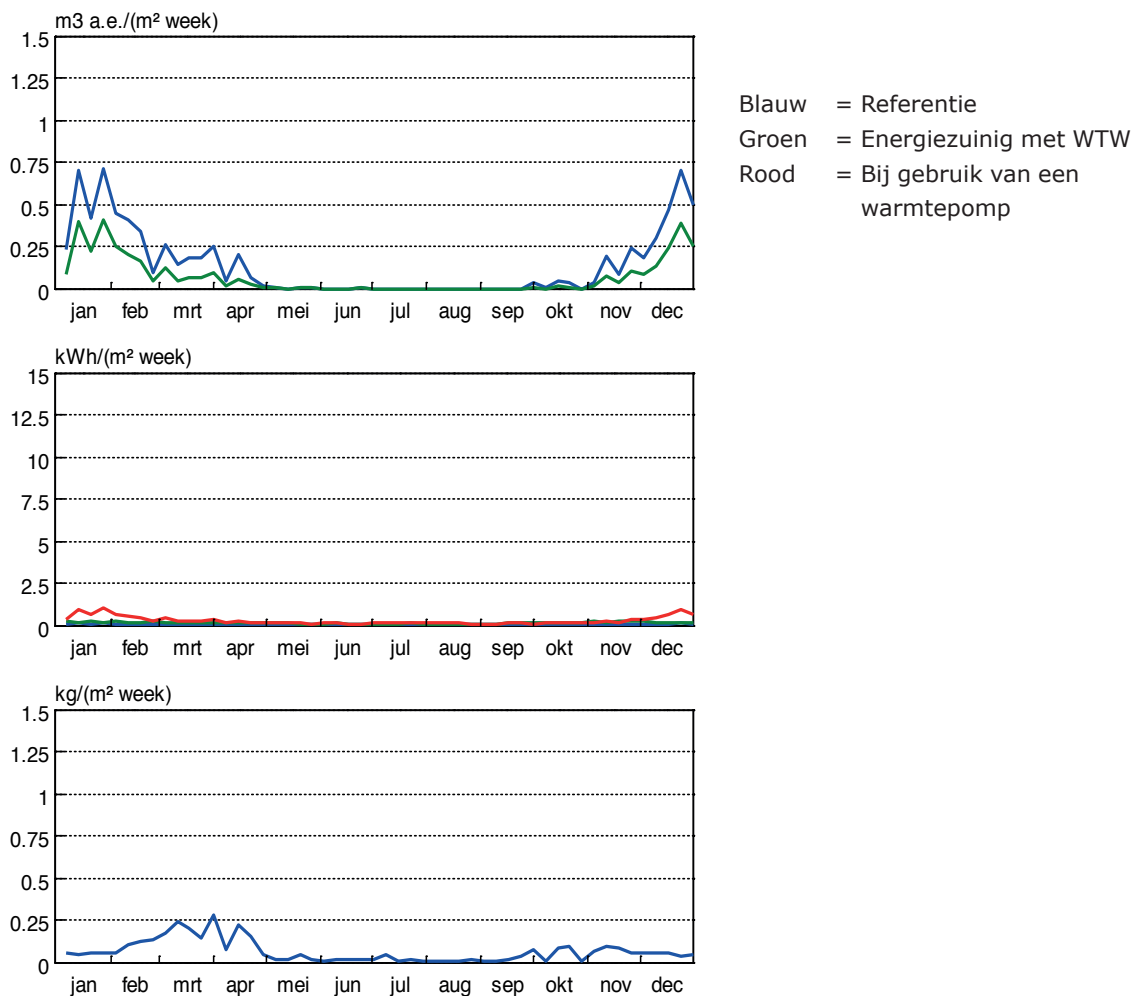
2.6 De teelt van Radijs

De radijs-teelt staat model voor het nagenoeg koud geteelde areaal. Dit is maar een heel klein deel van de Nederlandse commerciële tuinbouw (2%). Toch zal ook hier gezocht moeten worden naar fossiel-vrije alternatieven. En vanwege de geringe waarde van de omzet van deze koude teelten is het voor deze teelten mogelijk een nog grotere opgave.

Teelt:	Radijs is een jaarrondteelt en wordt in de grond geteeld.
Kasdek:	Venlo kas met enkel glas en twee kappen van 4 meter op een tralie. De lichttransmissie op gewashoogte is 68%.
Verwarmingssysteem:	Veel radijs-telers gebruiken hete-lucht kachels maar omdat in deze studie ook naar alternatieve energievoorzieningssystemen wordt gekeken die allen gebaseerd zijn op warm water wordt ook voor de referentie gerekend met een buisverwarmingssysteem. Omdat er in de grond geteeld wordt bestaat het buisverwarmingssysteem uit een bovennet. Hier hangen 4 51-ers in een 8 meter tralie. In de berekeningen met alternatieve energievoorzieningen wordt uitgegaan van een ruimer bemeten verwarmingsnet, 6 51-ers in een 8 meter tralie.
Kasklimaatsetpoints:	De radijs-teelt heeft de stooklijn op 6°C liggen. De ventilatielijn ligt een heel stuk hoger, op 14°C. Boven de 14°C worden de ramen over een P-band van 6°C geopend dus bij een kasluchttemperatuur van 20°C of hoger staan alle ramen volledig open.
Minimumbuis:	Er wordt geen standaard-minimumbuis aangehouden.
Luchtvochtigheid:	De kas ventileert op vocht bij een luchtvochtigheid groter dan 85% (dag en nacht) In de energiezuinige optie wordt het setpoint op 88% gezet.
Schermbuis:	In de gangbare radijsteelt wordt geen scherm gebruikt. In de energiezuinige optie wordt een goed isolerend schermdoek gebruikt, een dubbel transparant doek op een enkel dradenbed. Het schermdoek wordt 's nachts gesloten als het kouder is dan 8°C. Bij 6°C wordt het scherm pas bij 20 W/m ² geopend en bij het vriespunt wordt het geopend bij 100 W/m ² straling. Bij -5°C wordt het pas bij 200 W/m ² straling geopend. Tussentijdse waarden worden geïnterpoleerd.
WKK:	In de radijs-teelt wordt vanwege de lage warmtevraag geen WKK gebruikt.

2.6.1 Grafieken

Onderstaande grafieken tonen de weekverbruiken voor warmte, stroom en CO₂.



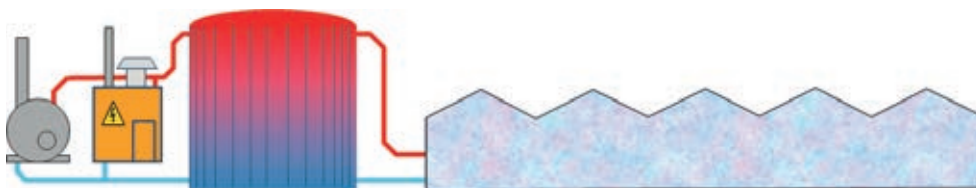
Uiteraard zijn de warmteverbruiken in de radijs zeer laag. In de referentieteeelt (blauwe lijn) wordt 7.6 m³/ (m² jaar) gebruikt en in de energiezuinige uitvoeringsvorm van de kas 3.6 m³/m² jaar. Ontvochtiging met een koelblok is in de radijzenteelt niet mogelijk omdat de kasluchttemperatuur daarvoor te laag is. De verwarming kan echter wel met een warmtepomp worden gerealiseerd als die de laagwaardige warmte uit een aquifer onttrekt. In dat geval zou de elektriciteitsbehoefte oplopen van 3 kWh/m² per jaar in de referentie naar 14 kWh/(m² jaar).

De CO₂-input in de radijzenteelt is ook erg laag, 3 kg/m² per jaar en dit moet als een bovengrens worden gezien. Bij stijgende kosten voor CO₂ (-emissie) zullen tuinders minder gaan gebruiken.

3 Fossielvrije opties voor warmte, stroom en CO₂

3.1 Inleiding

In de huidige tuinbouw wordt de verwarming voor het overgrote deel ingevuld door de verbranding van aardgas. Het aardgas wordt verbrand in ketels en WKK-installaties waarmee water wordt opgewarmd wat in buisverwarmingssystemen wordt gebruikt voor de verwarming van de kas. Warm water kan gemakkelijk worden gebufferd in een Warmte Opslag Tank (WOT), waardoor het momentane vermogen voor de verwarming van de kas veel groter kan zijn dan het vermogen waarmee water kan worden opgewarmd. Het huidige standaard verwarmingssysteem voor kassen is geschetst in onderstaande figuur.



Figuur 3.1 Schematische weergave van de huidige warmtevoorziening in de tuinbouw.

In de huidige economische context is het gebruik van WKK aantrekkelijk. Voor belichte teelten die daarmee goedkope stroom kunnen maken en de aansluitcapaciteit met elektriciteitsnet beperkt kunnen houden, maar ook voor onbelichte teelten. In onbelichte teelten wordt de WKK gebruikt om stroom te produceren voor het openbaar elektriciteitsnet. De prijs voor geleverde elektriciteit kan over het etmaal sterk variëren, waardoor vaak grote WKK-vermogens worden geïnstalleerd. Daarmee kan goed gebruik worden gemaakt van de fluctuerende stroomprijzen. De warmte-opslagbuffer wordt daarbij intensief gebruikt. Behalve voor de beperking van de aansluitcapaciteit en om slim in te kunnen spelen op de elektriciteitsmarkt, wordt de buffer gebruikt om de warmte die over het etmaal nodig is vooral overdag te kunnen produceren. De rookgassen kunnen daarbij (na reiniging) goed gebruikt worden voor CO₂-dosering.

In de ontwikkeling naar een fossielvrije tuinbouw zal de centrale rol van aardgas als energiebron komen te vervallen. In principe kunnen dezelfde installaties gebruikt blijven worden, waarbij aardgas vervangen zou kunnen worden door biogas, biomassa-producten of biodiesel. Omdat echter verwacht wordt dat deze alternatieve energiedragers bij massaal gebruik aanzienlijk duurder zullen worden vanwege de beperkte beschikbaarheid wordt in dit rapport vooral gekeken naar andere fossielvrije alternatieven.

Een aantal pionier-tuinders zijn nu al grotendeels van het gas afgestapt en vullen een substantieel deel van hun warmtebehoefte in met Geothermie, industriële restwarmte of warmte die in de zomer aan de kas onttrokken is en via opslag in een aquifer in de winter wordt gebruikt voor verwarming.

Ook zijn er bedrijven die de warmte die vrijkomt bij koeling en ontvochtiging binnen het etmaal of in naastgelegen kasafdelingen gebruiken voor de verwarming.

In de volgende paragrafen wordt de essentie van al deze technieken toegelicht. Mede omdat er nog veel WKK's staan (waarvan de levensduur door revisies lang kan worden opgerekt) wordt de WKK altijd als mogelijkheid bekeken naast de fossielvrije alternatieven.

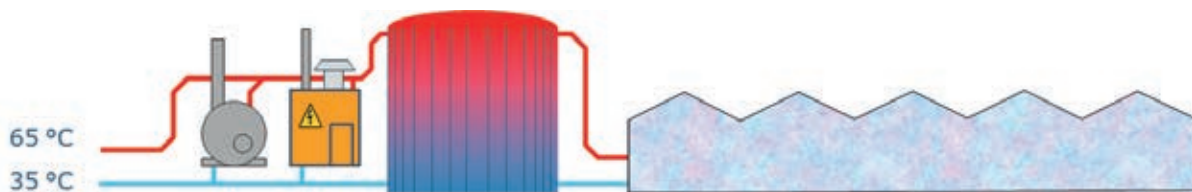
3.2 Geothermie

Bij het gebruik van Geothermie betrekken één of meer tuinbouwbedrijven warmte uit een geothermische bron. De bron levert water van een bepaalde temperatuur (ordegrootte 65 tot 85°C, afhankelijk van de locatie en diepte van de geothermische bron) en de kas koelt de warmte af tot circa 35°C. Geothermische bronnen hebben een capaciteit die vooral door het maximaal waterdebiet wordt bepaald. Typische debieten zijn 125 tot 200 m³/uur per bron en het verwarmingsvermogen volgt uit de formule:

$$P_{\text{geothermie}} = \text{brondebiet} * (\text{aanvoertemperatuur} - \text{retourtemperatuur}) * 1.16 \text{ kW}$$

Een bron die 70°C water levert met een debiet van 150 m³/uur dat met 35°C vanuit de kassen terugkomt levert $150 * (70 - 35) * 1.16 = 6090 \text{ kW} = 6.1 \text{ MW}$.

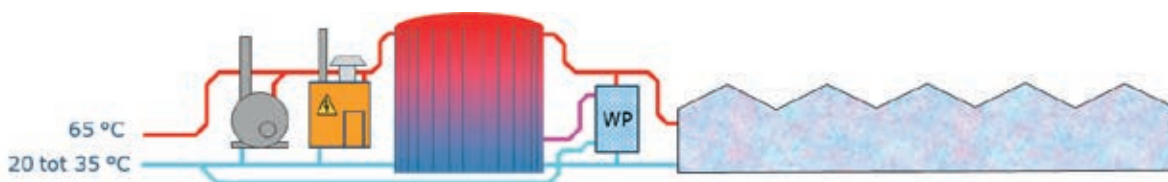
Kassen die op een geothermische bron worden aangesloten zetten de warmte in de huidige energiemarkt in voor de basislast voorziening en hebben daarnaast dus nog een ketel en vaak ook nog een WKK (vanuit de oude energieopzet). Een schematische weergave is getoond in Figuur 3.2. Door de hoge temperatuur van de aardwarmtebron kan deze ook gebufferd worden via de bestaande WOT.



Figuur 3.2 Schematische weergave van een kas die gebruik maakt van geothermische warmte.

Omdat de geothermische bron een substantieel deel van de warmtevraag zal invullen zal bij gebruik van geothermie in een nieuwbouw situatie het vermogen van de WKK in de regel wat kleiner zijn. Dit geldt uiteraard niet voor bestaande bedrijven die op een geothermische bron worden aangesloten, waar in de regel de WKK's vanuit de oude situatie blijven staan.

In het bovengetoonde plaatje wordt het water uit de geothermische bron tot circa 35°C afgekoeld. Water van 35°C heeft echter nog steeds potentie voor verwarming. Het zou gebruikt kunnen worden in kassen die een lage temperatuur verwarming systeem hebben (bv. vloerverwarming), maar ook zou het water verder uitgekoeld kunnen worden met een warmtepomp. Het schema ziet er dan als volgt uit.



Figuur 3.3 Schematische weergave van een kas die gebruik maakt van geothermische warmte die bij grote warmtevraag de warmte verder kan uitkoelen door middel van een warmtepomp.

In Figuur 3.3 is de warmtepomp aan de rechterkant van de buffer getekend. Hiermee wordt bedoeld dat de warmte die door de warmtepomp wordt geproduceerd, vanwege de lagere temperatuur, alleen maar direct voor de kasverwarming gebruikt kan worden en niet gebufferd kan worden.

Bij de productie van warmte onttrekt een warmtepomp energie aan een medium op lage temperatuur om een ander medium op te kunnen warmen.

In combinatie met geothermie kan de warmtepomp de energie vanuit de onderkant van de buffer onttrekken en afkoelen naar circa 20°C. Hierdoor kan de retourtemperatuur naar de geothermische bron een stuk verlaagd worden waarmee het vermogen dat uit de bron kan worden betrokken toeneemt.

De toename van het vermogen uit de geothermische bron geeft uiteraard een toename van het elektriciteitsverbruik zodat in deze configuratie de warmtepomp alleen gebruikt zal worden op het moment dat het vermogen van de geothermische bron te klein is. Is de warmtevraag van de kas laag, dan levert de bron ook zonder deze extra uitkoeling voldoende vermogen en kan de warmtepomp uit blijven.

Uiteraard hangt de economische rentabiliteit van zo'n optie ook af van de kostprijs van energie uit de ketel en/of de WKK, want dat zijn ook energiebronnen die bij zo'n vermogenstekort kunnen bijspringen. In hoofdstuk 5 wordt hier nader op ingegaan.

3.3 Industriële restwarmte

Waar in Figuur 3.2 en 3.3 warm water wordt aangevoerd vanuit een geothermische bron zou het water ook kunnen worden aangevoerd vanuit industriële warmteoverschotten. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een vuilverbrandingsoven of een elektriciteitscentrale.

In vergelijking met geothermische warmte zijn de transportafstanden voor industriële restwarmte in de regel groter omdat zowel de warmteleverancier als het tuinbouwgebied historisch bepaalde vestigingsplaatsen hebben.

Er zijn ook industriële warmtebronnen (denk aan de koeling van datacenters) die de warmte op een zodanig lage temperatuur leveren dat de kas de warmte met behulp van een warmtepomp moet opwerken voordat het gebruikt kan worden voor verwarming.

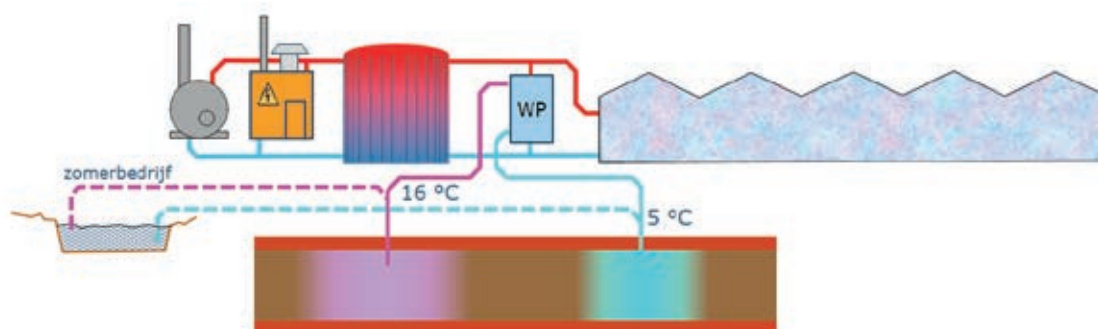


Figuur 3.4 Schematische weergave van een kas die gebruik maakt van laagwaardige industriële restwarmte als warmtebron voor een warmtepomp.

De in Figuur 3.4 genoemde temperaturen zijn uiteraard indicatief.

Ook in deze situatie ligt het minder voor de hand dat er zowel een warmtepomp als een grote WKK-installatie voor de warmtevoorziening wordt ingezet zodat ook hier de WKK slechts vaag is ingetekend.

Een optie die veel gelijkenis heeft met de bovenstaande situatie is een kasverwarmingssysteem waarbij de warmtepomp de laagwaardige energie betreft uit een ondergrondse seizoensbuffer (WKO of aquifer genoemd) die in de voorafgaande zomer is opgewarmd met oppervlaktewater.



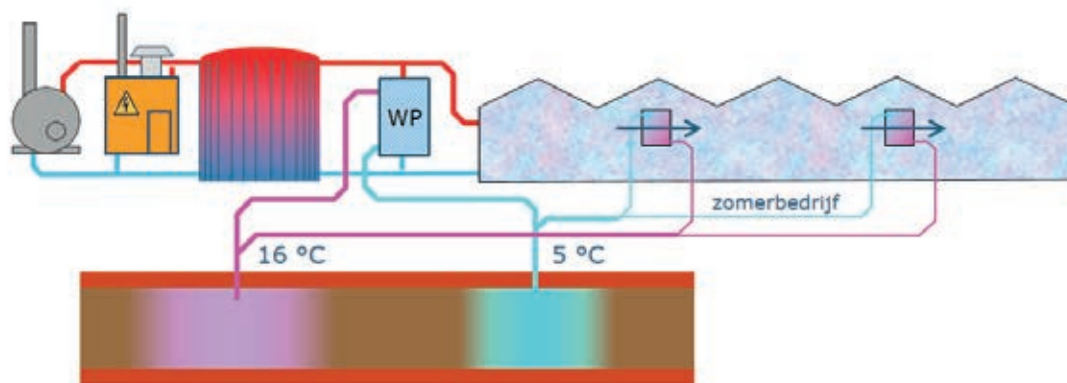
Figuur 3.5 Schematische weergave van een kas die gebruik maakt van een warmtepomp die gevoed wordt met laagwaardige energie die in de zomer aan het oppervlaktewater is onttrokken.

Voor zover bekend zijn er op dit moment nog geen bedrijven die van deze optie gebruik maken, vooral omdat er nog geen duidelijkheid is over de regelgeving rond het gebruik van oppervlaktewater voor deze toepassing. Een klein verschil tussen Figuur 3.4 en 3.5 is dat de temperaturen aan de koude zijde van de warmtepomp bij het gebruik van oppervlaktewater lager zullen zijn. De warmtepomp zal hierdoor meer elektriciteit per geleverde hoeveelheid warmte gebruiken (een lagere COP hebben). Het hogere stroomverbruik maakt dat het gecombineerd gebruik van (een kleine) WKK en de warmtepomp geen vreemde combinatie is, waardoor de WKK in dit plaatje weer nadrukkelijk als optie is opgenomen.

3.4 Verwarming met warmte-overschotten uit de kas

Op jaarbasis heeft elke Nederlandse kas geen warmtetekort, maar een warmte-overschot. In de experimenten rond de gesloten kas in het eerste decennium bleek dat het sluiten van ongeveer 1/3 van het kasoppervlak van een tuinbouwbedrijf en onttrekking van het warmte-overschot op dat stuk kas voldoende warmte oplevert om het gehele kascomplex jaarrond te verwarmen. De warmte wordt in dat geval in de zomer verzameld, opgeslagen in een seizoensbuffer en in de winter na tussenkomst van een warmtepomp gebruikt voor de verwarming.

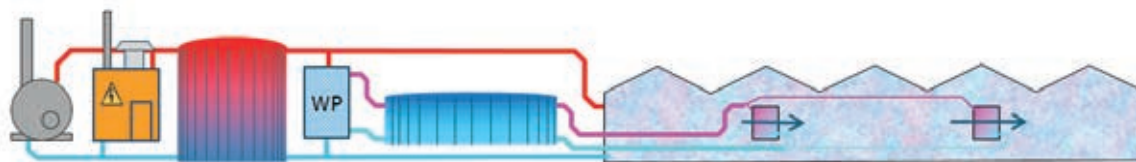
Deze optie is schematisch weergegeven in Figuur 3.6.



Figuur 3.6 Schematische weergave van een kas waar in de zomer overtollige warmte wordt onttrokken aan de kaslucht die in de winter gebruik maakt van een warmtepomp die gevoed wordt met laagwaardige energie die in de zomer aan het oppervlaktewater is onttrokken.

Vanuit energetisch perspectief maakt het niet uit of de verzameling van de zomerse overschotten op een klein deel van het bedrijf wordt gerealiseerd, wat dan geheel gesloten kan blijven, of op het gehele bedrijfsoppervlak met een kleine capaciteit per m² wordt gerealiseerd. In het algemeen geven tuinders aan dat zij liever op het hele bedrijf een vergelijkbare bedrijfsvoering hebben en dus meer zullen voelen voor een klein koelvermogen. Veel Phalaenopsis tuinders gebruiken in principe al dit systeem. Zij gebruiken in de zomer kaskoeling voor de bloei inductie en veel van hen slaan de daarbij vrijkomende warmte op voor gebruik in de winter. Ook hier is het gecombineerd gebruik van (een kleine) WKK in combinatie met de warmtepomp geen vreemde combinatie. In de Alstroemeriateelt is ook een koelbehoefte aanwezig. Deze is minder groot dan bij de phalaenopsisteelt, maar toch interessant omdat ook de warmtevraag in de Alstroemeriateelt veel kleiner is.

In zwaar belichte teelten is er echter niet alleen in de zomer een warmte-overschot. Ook in de winter, bij gesloten schermen en belichting wordt het in de kas al gauw te warm, en in ieder geval al gauw te vochtig. In deze belichte teelten kan er dus ook in de winter warmte verzameld worden en is de seizoensopslag veel minder voor de hand liggend. Deze situatie is geschetst in Figuur 3.7.



Figuur 3.7 Schematische weergave van een kas waar overtollige voelbare en/of latente warmte aan de kaslucht wordt onttrokken die in hetzelfde etmaal weer kan worden gebruikt voor de verwarming.

Figuur 3.7 heeft de inmiddels bekende componenten zoals de ketel, de WKK de warmtebuffer en de warmtepomp, maar daarnaast ook nog een koude buffer. Zodra het in de kas te warm of te vochtig is wordt er koud water vanuit de koude buffer door de koelers geleid. Hierdoor zal de kaslucht koelen en zal er vocht condenseren. Als het wel te vochtig is, maar niet te warm zal er samen met de ontvochtigingsbehoefte ook een verwarmingsvraag ontstaan omdat de koude lucht die van het drogende koelblok afkomt weer teruggewarmd moet worden. In hoofdstuk 2 is uitgelegd dat de warmtevraag van de kas hierdoor zal toenemen, maar dat dit toch als energiezuinig kan worden bestempeld omdat er veel warmte wordt verzameld op het koelblok (voelbare en latente warmte). Feitelijk is het de belichting die de energie aan de kas levert. Lamplicht wordt omgezet in warmte en vocht, welke beide weer op het koelblok kunnen worden verzameld voor de verwarming i.p.v. dat het vocht (en het overschot aan warmte) via de luchtramen worden afgevoerd. Momenteel wordt dit principe bij het Delphy Improvement Centre beproefd. Uiteraard hangt het economisch perspectief van dit principe af van de kostprijs van de verschillende apparaten en de prijs van elektriciteit, maar ook van de kosten van concurrerende alternatieven zoals geothermie en industriële restwarmte. Dit komt uitgebreid aan bod in hoofdstuk 5.

3.5 Een ketel als backup voorziening

Bij alle opties zijn naast de fossiel-vrije energievoorzieningssystemen ook ketels getekend. De ketel is in de systemen opgenomen omdat tuinders altijd een backup-voorziening nodig zullen hebben voor het geval de alternatieve energievoorziening tijdelijk uitvalt. Een (rest)warmte-infrastructuur heeft van tijd tot tijd onderhoud nodig of kan te maken krijgen met calamiteiten en bij gebruik van de warmtepomp als belangrijkste warmteproducent zal bij een stroomstoring de backup-generator van de kas onvoldoende vermogen leveren om de warmtepompen aan te drijven.

Een ketel is voor al deze gevallen een relatief goedkope warmteproducent om op terug te vallen. De ketel kan ook gebruikt worden tijdens pieken in de warmtevraag. De definitie van 'piek' is hierbij niet vastomlijnd. Wanneer de alternatieve warmtevoorziening ruim bemeten is zal er zelden extra verwarmingsvermogen nodig zijn (denk aan een extreem koude week die een keer in de 2 of 3 jaar voorkomt), maar als de alternatieve warmtevoorziening uit kosten-overwegingen klein gekozen is zal er regelmatig additioneel vermogen nodig zijn. Het is een economische afweging die bepaalt welk deel van de warmte in toekomstige kassen alsnog met een ketel zal worden geproduceerd. Daarbij is het dan ook nog een kostenafweging of deze ketel gevoed wordt met aardgas, groen gas, biodiesel of biomassa.

3.6 CO₂-dosering

Het is in dit rapport al een aantal keren aangestipt dat de uitfasering van aardgas uit de tuinbouw de beschikbaarheid van rookgas CO₂ sterk zal verlagen. Hierop zijn uiteraard twee reacties mogelijk, namelijk het accepteren van een lagere CO₂-concentratie in de kas, of het gebruik van CO₂ die van elders aangevoerd wordt. De eerste optie zal de productie doen verminderen en de tweede optie zal een kostenplaatje kennen. Omdat de bepaling van de opbrengstdaling bij verminderde CO₂-dosering buiten de scope van de in dit rapport besproken project valt, is gekozen om te veronderstellen dat de CO₂-dosering die in de referentie voor een bepaalde teelt wordt toegepast ook in alle andere doorgerekende situaties zal worden gehanteerd. Dit betekent dat het verlagen van het aardgasgebruik leidt tot een toename van de kosten voor CO₂-doseering.

De meest voor de hand liggende bron voor extern geleverde CO₂ is de bekende OCAP-CO₂ of CO₂ dat via tankwagens wordt aangevoerd. In beide gevallen is dit CO₂ die als afvalstof vrijkomt in de chemische industrie. Er wordt momenteel ook gewerkt aan projecten waarin CO₂ aan de buitenlucht wordt onttrokken waarmee de CO₂-dosering geheel klimaatneutraal zou worden. Deze techniek is echter nog in een zodanig pril ontwikkelingsstadium dat er nog niets over de capaciteiten waarmee de CO₂ kan worden verzameld gezegd kan worden en de kostprijs van deze CO₂.

Waar er in het volgende hoofdstuk over de kostprijs van CO₂ wordt gesproken wordt dus de gemiddelde prijs van OCAP-CO₂ en CO₂ die per as wordt geleverd bedoeld.

3.7 Economische parameters

De hierboven beschreven technieken voor de verduurzaming van de warmtevoorziening vereisen investeringen in infrastructuur (pijpleidingen, netverzwaring), investeringen in het 'ketelhuis' en soms ook in de kas. Deze paragraaf bespreekt de investeringen en jaarkosten voor de aanpassingen die op het tuinbouwbedrijf nodig zijn om de transitie nodig te maken. De kosten van infrastructurele werken en de economische aspecten van commodities en belastingen komen in hoofdstuk 4 aan bod.

Vergroting van het VO

Bij alle opties waar gebruik wordt gemaakt van een warmtepomp wordt verondersteld dat met de introductie van een warmtepomp ook een uitbreiding van het verwarmend oppervlak (VO) van het verwarmingssysteem moet worden aangebracht. Dit kan betekenen dat er buizen met een grotere diameter worden gekozen of er kunnen meer buizen per m² in een verwarmingsnet worden gelegd. Hierdoor kan hetzelfde verwarmingsvermogen met een lagere watertemperatuur worden gerealiseerd, waardoor een warmtepomp met een hogere COP zal kunnen werken.

Een groter VO maakt het verwarmingssysteem iets duurder en de rente- en afschrijvingskosten die hieruit voortkomen worden gesteld op 0.20 € per m² per jaar voor de licht gestookte teelten (radijs en Alstroemeria). In de potplantenteelt hoeft het VO in de regel niet vergroot omdat hier vaak al gebruik gemaakt wordt van vloerverwarming of tafelverwarming. Voor de Chrysanten- en tomatenteelt wordt er 0.35 € per m² per jaar aan de uitbreiding van het verwarmingsnet toegerekend.

Het is in dit project niet verder uitgezocht, maar waarschijnlijk is ook voor geothermie en HT restwarmte zonder warmtepompen de uitbreiding van het verwarmingsnet een kosteneffectieve optie omdat hierdoor de retourtemperatuur van het verwarmingswater daalt. Hierdoor neemt de uitkoeling op relatief goedkope wijze toe en dus ook de benuttingsgraad van de capaciteit van distributienetten.

Warmtepomp

In veel opties wordt gebruik gemaakt van een warmtepomp. De kostprijs van een warmtepomp bedraagt 750 euro per kWe (het elektrisch aandrijfvermogen). De afschrijvingstermijn wordt op 15 jaar gesteld, of 80.000 draaiuren als de warmtepomp meer dan 5350 uur per jaar wordt ingezet.

Luchtbehandelingskasten

In de opties die in § 3.4 worden genoemd wordt de warmte aan de kaslucht onttrokken door middel van koelblokken in de kas. De kostprijs hiervan is afhankelijk van de capaciteit. De investering is gesteld op 1.80 € per m³/(m² uur) en de jaarkosten (rente, onderhoud en afschrijving) zijn gesteld op 14%. Een systeem voor warmte-oogst vanuit de kas kost daarmee 0.25 € per m³/(m² uur) per jaar.

WKO

De kostprijs van een aquiferdoublet is gesteld op 80.000 euro + 1750 euro per m³/uur pompcapaciteit. Voor rente, onderhoud en afschrijving wordt 15% van de investering gerekend.

WKK

Tenslotte is er nog de WKK. In de toekomst zal het toegepaste WKK-vermogen vaak kleiner zijn en de kosten voor de WKK dus afnemen.

De kostprijs van een WKK bedraagt 450 euro per kWe (het elektrisch vermogen, wat in hoofdstuk 5 als dimensioneringsgetal is gebruikt). De afschrijvingstermijn wordt op 15 jaar gesteld, of 60.000 draaiuren. Daarnaast is de WKK een onderhouds-intensieve installatie. Het onderhoud kan het beste per geproduceerde kWh elektriciteit worden uitgedrukt en bedraagt 10 euro per MWh.

Gebruik van oppervlaktewater

Het gebruik van oppervlaktewater voor de regeneratie van een aquifer die in de winter door een warmtepomp is uitgeoeld is een techniek die nog niet wordt toegepast. Er is ook nog geen vergunningskader voor deze techniek ontwikkeld, maar het feit dat hiermee oppervlaktewater in de zomer wordt gekoeld zou de waterkwaliteit ten goede kunnen komen.

Omdat de techniek nog niet wordt toegepast zijn er geen ervaringscijfers met betrekking tot de kosten beschikbaar, maar de techniek lijkt eenvoudig dus is er verondersteld dat de pijpleidingen naar het oppervlaktewater in de installatie van de Koude/Warmte opslag meegenomen kan worden.

2° Scherm

Aangezien de kosten voor energie en verwarming in de komende jaren zullen stijgen zal het steeds meer de moeite lonen om kassen beter te isoleren. Eén van de eerste technieken waarmee de isolatiegraad van de kas kan worden verbeterd, ook in bestaande kassen, is de installatie van een tweede scherm. In de beschrijving van de voorbeeldteelten is daarom overal zo'n extra scherm in het lijstje maatregelen. Een extra scherm vergt een investering van 6 €/m² en het onderhoud, de rente en afschrijving zijn gesteld op 12.5% van de investering. Hiermee komen de jaarkosten voor een tweede scherm op €0.75 per m² per jaar.

LED

De ontwikkeling van LED gaat snel en lampen met de eerder gestelde omzettingsefficiëntie van 3 µmol/J zullen op korte termijn tegen concurrerende prijzen op de markt komen.

Voor de belichting in de tomaten is in dit rapport uitgegaan van jaarlijkse meerkosten van €12.50 per m² voor de gehanteerde intensiteit van 200 µmol/(m² s). In de Chrysantenkas is de belichtingsintensiteit 130 µmol/(m² s) en daar zijn de meerkosten (naar rato) €8.15 per m² per jaar.

In de Alstroemeriateelt is voor de energiezuinige teelt niet alleen overgestapt naar LED, maar is ook de intensiteit verhoogd, waardoor daar de in rekening gebrachte extra jaarkosten voor de belichting €15 per m² bedragen.

Latente warmte terugwinnen

Bij de in § 3.4 beschreven systemen wordt de kas duurzaam verwarmd door het overschot aan warmte en vocht aan de kaslucht te onttrekken. Hiervoor moeten luchtbehandelingskasten in de kas worden aangebracht die een koelende en verwarmende warmtewisselaar hebben en lucht door de kas kunnen circuleren. Deze techniek wordt op dit moment beproefd en vanuit die proeven kan een ordegrootte getal worden ontleend voor de meerkosten van zulke luchtbehandelingssystemen ten opzichte van de eenvoudiger luchtbehandelingssystemen die gebruikt worden bij de andere duurzame verwarmingsopties (§ 3.2 en 33.3).

De meerkosten worden geschaald naar de toegepaste luchtcirculatiecapaciteit. De integrale kosten per jaar (rente, afschrijving en onderhoud) zijn gesteld op €0.75 per m² per m³/(m² uur).

In de onbelichte tomatenteelt, waar een circulatiecapaciteit van 10 m³/uur wordt gebruikt komen extra jaarkosten voor de geavanceerde luchtbehandelingskasten op €0.75 per m².

In de belichte tomatenteelt is de benodigde circulatiecapaciteit 20 m³/uur en komen de extra kosten op €1.50 per m².

Indien dit systeem wordt gebruikt in de Chrysantenteelt betekent dit extra jaar kosten van €1.25 per m² en in de Alstroemeriateelt, waar slechts kleine capaciteiten nodig zijn kost een geavanceerd ontvochtigingssysteem €0.60 per m² per jaar.

De potplantenteelt heeft vergelijkbare capaciteiten nodig als de chrysantenteelt, dus daar zijn de jaarkosten voor dit systeem €1.25 per m².

In de radijzenteelt kan de capaciteit klein zijn. 6 m³/(m² uur) en dus zijn daar de jaarkosten 0.45 per m².

4 Economische parameters van een fossiel-vrije energie-infrastructuur

4.1 Inleiding

De toepasbaarheid van de verschillende opties voor de verschillende teelten hangt af van technische mogelijkheden en randvoorwaarden, die in het vorige hoofdstuk zijn uitgelegd, en van economische parameters, de kosten. De kosten voor aanpassingen in de kas en in het 'ketelhuis' zijn in het vorige hoofdstuk besproken. Dit hoofdstuk gaat over de kosten van de energiedragers en de energie-infrastructuur. Deze parameters worden gedeeltelijk door marktontwikkelingen bepaald en gedeeltelijk door overheidsmaatregelen zoals subsidies of belastingen. Hoe die zich zullen ontwikkelen is niet met zekerheid vast te stellen, maar vanuit gesprekken met belangrijke spelers in de energiemarkt en mensen die goed zicht hebben op ontwikkelingen binnen maatschappij en overheid is gekomen tot een educated guess.

4.2 Verwachtingen voor prijsontwikkelingen

De komende jaren zullen grote veranderingen kennen in de energiemarkt en de verrekening van onderhouds- en maatschappelijke kosten. In een tweetal discussiesessies zijn belangrijke spelers in de energie-infrastructuur en de overheid bevraagd over de wijze waarop deze ontwikkelingen tot uiting zullen komen in prijzen. Onderstaande Tabel is hiervan het resultaat.

In de Tabel wordt eerst de huidige situatie getoond in termen van variabele prijzen, belastingen en heffingen en capaciteitskosten. In de prijzen voor alternatieve energiebronnen zijn de effecten van de subsidies tot uiting gebracht in de variabele en/of capaciteitskosten.

Naast de kolom die de huidige situatie beschrijft is een kolom opgesteld waar de effecten van de energiemarkt, maar vooral de effecten van overheidsmaatregelen getoond worden. Gedreven vanuit maatschappelijke druk wordt verwacht dat er een sturing richting duurzame energiebronnen zal gaan plaatsvinden. Een sturing vooral middels heffingen en belastingen en minder middels subsidies.

Tenslotte wordt in een derde kolom de situatie geschetst die reëel geacht wordt voor een economie die op duurzame energie gebaseerd is.

	Referentie	Transitie	Duurzaam	
Gas				
1 Gasprijs	20	30	n.v.t.	€ct/Nm ³
2 EB+ODE ketel	3,3	15	n.v.t.	€ct/Nm ³
3 EB+ODE wkk	0	7,5	n.v.t.	€ct/Nm ³
4 transport GTS	20	30	40	€/m ³ .h
5 transport regionaal	25	30	40	€/m ³ .h
6 CO ₂ heffing overheid	0	45	n.v.t.	€/ton
restwarmte HT				
7 warmte variabel	4,75	7,10	3,00	€/GJ
8 warmte vast cap	16	24	150	€/kW
restwarmte LT				
9 warmte variabel	2,40	3,55	1,50	€/GJ
10 warmte vast cap	8	12	75	€/kW
Aardwarmte				
11 warmte vast cap	120	180	350	€/kW
12 warmte vast cap 50% kosten			175	€/kW
Elektriciteit				
13 elektra baseload	45	50	55	€/MWh
14 EB+ ODE elektra net	19	40	0	€/MWh
15 EB + ODE elektra wkk	0	0	0	€/MWh
16 Transport	10	15	20	€/MWh
17 jaarpiek elektra	12	18	24	€/kW
18 maandpiek elektra	1,50	2,25	3	€/kW
CO ₂				
19 externe CO ₂ kosten	6	10	15	€ct/kg
Biobrandstoffen				
20 Groen gas	48	65	65	€ct/Nm ³

De regels in de Tabel zijn genummerd om als index te kunnen fungeren voor een toelichting:

1. Specialisten verwachten dat het gebruik van aardgas naar de toekomst toe meer zal gaan kosten, maar niet zozeer door een toename van de kale gasprijs. Het marktaanbod van gas is immers ruim. Wel zal het aanbod op korte termijn verschuiven van Gronings gas naar gas van andere herkomst. Mogelijk zal dit hoog-calorisch gas zijn, maar de prijs die hier genoemd staat geldt voor een normaalkuub gas met een (onderste) verbrandingswaarde van 31.65 MJ/m³.
In het fossiel-vrije scenario zal er geen aardgas meer verbruikt worden.
2. Hier zien we een belangrijke toename van de energiebelasting en opslag duurzame energie (EB+ODE) op gas van de huidige 3.3 cent per m³ naar 15 cent per m³ in het transitiescenario. De belasting op gas is in een fossiel-vrije energie-infrastructuur niet meer van toepassing.
3. Omdat WKK een efficiënte energieconversie-vorm is zal de EB+ODE op WKK gas lager zijn dan die op gas voor een ketel.
4. Voor de gastransportkosten wordt verwacht dat deze belangrijk zullen toenemen. Immers, door stijgende kosten per m³ zullen afnemers geneigd zijn minder te gebruiken. De kosten voor aanleg en onderhoud voor infrastructuur zullen echter niet minder worden zodat de kosten per eenheid aansluitcapaciteit zullen toenemen.

5. Zie vorige punt.
6. Verwacht wordt dat er een maatschappelijke druk zal ontstaan op het verder verlagen van de CO₂-emissie en het hanteren van een CO₂-heffing is daarvoor een doeltreffend middel. De genoemde prijs van 45 euro per ton betekent een de facto toename van de gasprijs met 8 cent.
In het duurzame scenario is verondersteld dat alle CO₂ die eventueel nog bij kassen vrijkomt (bij CO₂-dosering bijvoorbeeld) van niet-fossiele oorsprong is en daarom geen CO₂-heffing krijgt.
7. Regel 7 en 8 hebben betrekking op de kosten van een restwarmte-infrastructuur van hoogwaardige industriële restwarmte (zie § 3.3). Zo'n infrastructuur kent een vast deel, waarmee de kosten voor het leiding-netwerk en de warmtewisselaars worden gedekt, en een variabel deel, wat afhankelijk is van de afname. Experts verwachten dat door het feit dat er een toenemend aanbod zal komen aan restwarmte (vuilverbrandingsovens bijvoorbeeld) en daardoor de prijs per afgenomen eenheid zal dalen. Transportafstanden zullen echter toenemen en subsidies zullen afnemen, waardoor de vaste lasten (fors) zullen oplopen. Ook hier speelt mee dat verwacht wordt dat tuinders er beter in zullen gaan slagen om met kleine aansluitcapaciteiten te werken, waardoor de kosten per eenheid capaciteit hoger zullen worden.
8. Zie vorige punt.
9. Regel 9 en 10 laten zien dat laagwaardige restwarmte is lager geprijsd omdat de gebruikswaarde van deze warmte lager is en de tuinder meer maatregelen zal moeten nemen om deze warmte te kunnen gebruiken (een warmtepomp aanschaffen bijvoorbeeld).
10. Zie vorige punt.
11. Regel 11 heeft betrekking op de vaste kosten van geothermie. Op dit moment wordt geothermie fors ondersteund met subsidies. De subsidie (SDE) is gebaseerd op de overbrugging van het kostprijsverschil tussen geothermische warmte en warmte uit gangbare (fossiele) bronnen. De gangbare bronnen leveren op dit moment goedkope warmte, waardoor subsidies de kostprijs van geothermische warmte laag houden. Aangezien de energiebronnen die in de toekomst gangbaar zullen zijn duurdere warmte leveren zal geothermie ook duurder worden.
Een tweede reden voor oplopende kosten per eenheid capaciteit is dat bij hogere kosten tuinders gemiddeld kleinere capaciteiten zullen gaan toepassen terwijl een belangrijk deel van de kosten onafhankelijk is van de capaciteit. Het graafwerk voor een aansluiting van 1.5 MW is nauwelijks meer dan het graafwerk voor een aansluiting van 1 MW.
12. De techniek die toegepast wordt de ontsluiting van geothermische warmte is nog sterk in ontwikkeling zodat sommige spelers in de markt verwachten dat de kosten wel zullen stijgen in vergelijking met de huidige kosten, maar lang niet zo sterk. Door ook een scenario met 175 €/kW in de berekeningen mee te nemen komt er zicht op het effect zo'n efficiëntieslag.
13. Voor elektriciteit wordt verwacht dat de prijs in de toekomst zal stijgen, maar niet heel sterk. Specialisten baseren dit op bv. de ontwikkeling in de aanleg van grote windmolenparken. De verwachte toename in volatiliteit is meegenomen door hogere uitschieters en diepere dalen in de prijzen mee te nemen.
14. De EB+ODE op elektriciteit die vanuit het net wordt ingekocht zal in de transitie-periode op gaan lopen. Van de huidige 19 euro per MWh naar 40 euro per MWh. In het duurzaam scenario zal er geen regulerende EB+ODE meer geheven worden.
15. Op dit moment is de elektriciteit die vanuit de WKK op het eigen bedrijf gebruikt wordt vrij van energiebelasting. Er wordt verwacht dat dat ook in de toekomst zo zal blijven.
16. De transportkosten voor elektriciteit zullen oplopen omdat er bij toenemende elektrificatie op allerlei plaatsen verzwaringen van het elektriciteitsnet nodig zullen zijn.
17. Vanwege de verwachte toename in piekvraag door bv. de toename van elektrisch verwarmen met warmtepompen zullen de kosten voor elektrisch vermogen tijdens piek-momenten ook gaan toenemen, zeker voor de echt grote pieken, maar ook voor de wat kleinere vermogensfluctuaties per maand.
18. Zie vorige punt.
19. Bij de ontwikkeling naar een fossiel-vrije energie-infrastructuur zal de vraag naar CO₂ door de tuinbouw toenemen en is het waarschijnlijk dat de kosten zullen stijgen.
20. Groen gas (voornamelijk geproduceerd uit mest) is in principe een interessant alternatief voor aardgas, maar is alleen in het duurzame scenario ook financieel haalbaar. Op dit moment wordt groen gas gesubsidieerd waardoor de kosten wat gedrukt worden. Als in de toekomst de fossiele equivalenten voor dit gas duurder worden (niet zozeer door de kale gasprijs, maar door de aan de verbranding gekoppelde emissierechten), zal de subsidie afgebouwd worden en de groen-gas prijs navenant stijgen.

4.3 Effect op warmteprijsen

Aan de hand van de geschetste prijsscenario's kan een richtgetal voor de variabele kostprijs voor warmte worden berekend voor de verschillende warmte-productie systemen. Voor sommige technieken is die variabele kostprijs echt variabel (kosten per eenheid warmte zijn onafhankelijk van het gebruik), maar voor de meeste zit er toch ook een afhankelijkheid van het aantal equivalente vollast gebruiksuren in.

Onderstaande Tabel geeft de variabele kostprijs onder het referentie-prijsscenario:

Uren	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
Ketel	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Ketel met CO ₂	0.13	0.13	0.13	0.13			
WKK	0.24	0.18	0.16	0.16	0.17	0.18	0.19
WKK met CO ₂	0.10	0.01	-0.02	-0.03			
WKK met EV	0.04	-0.03	-0.04	-0.05	-0.04		
Geo	1.06	0.53	0.35	0.26	0.21	0.18	0.15
WP (na Geo) (COP=5)	0.22	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15
HT	0.29	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17
LT+WP	0.35	0.27	0.24	0.23	0.22	0.22	0.22
Opp.+WKO+WP (COP=4,5)	0.32	0.23	0.20	0.19	0.18		
Kaswarmte+WP (COP=4)	0.33	0.27	0.25	0.24	0.24	0.24	
Kasw.+WKO+WP (COP=4)	0.41	0.31	0.28	0.26	0.25		

De Tabel laat duidelijk zien dat WKK met veel teruglevering zeer goedkope warmte oplevert, maar dat ook Hoogtemperatuur warmte uit geothermie goedkope warmte kan leveren, mits er veel equivalente vollasturen worden gemaakt.

Onder het transitie-scenario ziet de Tabel met variabele warmteprijs er als onderstaand uit:

Uren	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
Ketel	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
Ketel met CO ₂	0.35	0.35	0.35	0.35			
WKK	0.71	0.64	0.63	0.63	0.64	0.65	0.66
WKK met CO ₂	0.43	0.33	0.31	0.30			
WKK met EV	0.31	0.25	0.24	0.24	0.25		
Geo	1.58	0.79	0.53	0.40	0.32	0.26	0.23
WP (na Geo) (COP=5)	0.27	0.23	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20
HT	0.44	0.33	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25
LT+WP	0.47	0.37	0.34	0.32	0.31	0.31	0.31
Opp.+WKO+WP (COP=4,5)	0.39	0.30	0.27	0.25	0.24		
Kaswarmte+WP (COP=4)	0.39	0.34	0.32	0.31	0.31		
Kasw.+WKO+WP (COP=4)	0.47	0.38	0.35	0.33	0.32		

In het transitiescenario zijn er forse kosten verbonden aan het gebruik van fossiele energie, waardoor deze uit de markt geprijsd wordt. Geothermie wordt qua variabele kosten aantrekkelijk, vooral wanneer daar een warmtepomp bij geplaatst wordt.

In het duurzame scenario zet deze trend door:

Uren	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
Ketel	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Ketel met CO ₂	0.38	0.38	0.38	0.38			
	1.38	1.25	1.18	1.14	1.11	1.08	1.06
WKK	1.04	0.99	0.98	0.98	0.99	1.00	1.01
	1.14	1.11	1.08	1.06			
WKK met CO ₂	0.60	0.50	0.48	0.47			
WKK met EV	0.90	0.84	0.84	0.83	0.85		
Geo	3.08	1.54	1.03	0.77	0.62	0.51	0.44
WP (na Geo) (COP=5)	0.22	0.18	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15
HT	1.41	0.75	0.53	0.42	0.36	0.31	0.28
LT+WP	0.92	0.54	0.42	0.36	0.32	0.30	0.28
Opp.+WKO+WP (COP=4,5)	0.33	0.24	0.21	0.19	0.18		
Kaswarmte+WP (COP=4)	0.33	0.27	0.26	0.25	0.24		
Kasw.+WKO+WP (COP=4)	0.41	0.31	0.28	0.27	0.26		
Geo (50%)	1.54	0.77	0.51	0.38	0.31	0.26	0.22

4.4 Conclusies

De grote lijn die uit de getoonde prijsscenario's is dat stakeholders verwachten dat het vooral overheidsmaatregelen zullen zijn die de kostprijs van de gangbare fossiele energiedragers zullen verhogen. De EB+ODE en een heffing op CO₂-emissie maken het gebruik van gas aanzienlijk duurder en zal levering van stroom aan het openbare net door middel van WKK minder rendabel maken.

De stijging in de kostprijs van warmte uit fossiele bron, betekent dat de bijdrage uit de SDE-subsidie ook zal afnemen, waardoor ook alternatieve energiedragers zoals geothermie, industriële restwarmte en biomassa duurder zullen worden.

De inschatting van experts is dat de elektriciteitskosten van ingekochte stroom eerst flink zullen stijgen door een ruim twee keer zo hoge energiebelasting, maar later weer zullen dalen. Voor dat laatste is er van uitgegaan dat in een duurzame economie de elektriciteit van niet-fossiele bron is en gemiddeld niet veel duurder. Waar wel rekening mee gehouden moet worden is dat de aansluitkosten flink zullen toenemen omdat de eisen die aan het elektriciteitsnet gesteld zullen gaan worden door de elektrificatie sterk zullen gaan toenemen. Ook is te zien dat er rekening moet worden gehouden met belangrijk extra kosten voor stroom tijdens piek-momenten.

Voor de kostprijs van extern aangeleverde CO₂ wordt uitgegaan van een gestage stijging. Eerst naar 10 cent per kg en op langere termijn naar 15 cent per kg.

5 Optimalisatie van invullingsopties

5.1 Inleiding

Moderne tuinbouwbedrijven zijn zulke grote afnemers, en vaak ook leveranciers van energie, dat een uitgekiende besturing van het 'ketelhuis' tot substantieel lagere energiekosten leidt dan wat op grond van een simpele GJ-prijs voor warmte en kWh-prijs voor stroom of kg-prijs voor CO₂ berekend zou worden. Het woord 'ketelhuis' is tussen aanhalingstekens geplaatst omdat daar waar vroeger alleen een ketel de warmte voor de kas produceerde, tegenwoordig allerlei verschillende installaties aan elkaar gekoppeld zijn om warmte, stroom, CO₂ en ook koude te produceren.

Voor een goede werking van het ketelhuis is het van belang dat deze installaties goed op elkaar, op de kas en op de energiemarkt afgestemd zijn. Dit komt in de huidige kassen vooral tot uiting wanneer er gebruik gemaakt wordt van WKK. Levering van stroom aan het openbare net gedurende de plateau-uren levert belangrijke inkomsten op die de gemiddelde prijs voor warmte en stroom flink kunnen verlagen.

Maar ook zonder WKK kan een goed gebruik van warmtebuffers de benutting van energiebronnen met hoge capaciteitskosten maar lage variabele kosten ten goede komen. Een slimme besturing van de buffervulling helpt bij het gebruik van een restwarmte-infrastructuur of geothermische warmte om de gemiddelde GJ-prijs voor warmte beperkt houden.

De vertaling van de verbruikspatronen die in hoofdstuk 2 zijn beschreven naar energiekosten vereist dus niet alleen de prijzen voor energiedragers en installaties, maar ook een model dat de inzet van de verschillende installaties door het etmaal en de seizoenen heen optimaliseert.

AAB (voorheen Agro Advies Buro) heeft zo'n model ontwikkeld en in § 5.2 wordt de grote lijn van dit model uiteengezet.

In § 5.3 wordt de werking geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld en in § 5.4 worden de resultaten van de toepassing van het rekenmodel op alle opties voor alle 6 teelten getoond en besproken.

5.2 Het AAB Ketelhuissimulatieprogramma

Het ketelhuissimulatieprogramma van AAB draait om een op variabele kosten geoptimaliseerde inzet van de verschillende warmte-, stroom en CO₂ bronnen in het ketelhuis. De optimalisatie wordt uitgevoerd voor 12 maandprofielen waarbij rekening wordt gehouden met prijsverschillen tussen de uren op de dag, werk- en weekenddagen, teeltwissel, etc.

Rekening houdend met randvoorwaarden en prijsscenario's, etc. optimaliseert het ketelhuissimulatieprogramma de inzet van de installatie bij het gegeven gemiddelde etmaalprofiel per maand. Het model minimaliseert dan de kosten voor warmte- stroom en CO₂ met de gegeven capaciteiten van de installatie. Zo wordt voor alle maanden een geoptimaliseerde inzet bepaald van WKK draaipatroon, benutting van aard- of restwarmte, inzet van de WP en ketel.

Voor hoogwaardige energie, zoals WKK-restwarmte, geothermische warmte of industriële restwarmte, veronderstelt het model dat er buffers aanwezig zijn met voldoende capaciteit voor buffering over het etmaal. Laagwaardige WP warmte kan alleen direct worden ingezet worden en wordt dus als niet bufferbaar beschouwd. Elektriciteit en CO₂ kunnen ook niet worden gebufferd, zodat de stroom- en CO₂-vraag direct volgen uit de actuele vraag minus de geleverde hoeveelheden uit de WKK en, op piek-verbruiksdagen, uit de ketel.

Het ketelhuissimulatieprogramma berekent voor een gegeven combinatie van capaciteiten van verschillende warmtebronnen de optimale invulling op variabele kosten. Behalve variabele kosten, brengen het gebruik van deze bronnen uiteraard ook vaste kosten met zich mee. Voor een groot aantal variaties in capaciteiten van de verschillende installaties is de optimale inzet met behulp van dit model bepaald. De uiteindelijke energiekosten (som van vaste en variabele kosten) zijn voor al deze variaties vergeleken om zo voor iedere techniek die in § 3.2 tot en met 3.4 is besproken te bepalen wat het kostprijs-niveau is bij de gunstigste combinatie van energiebronnen en installaties. In § 5.4 worden voor alle teelten deze gunstigste combinaties besproken.

Zoals in hoofdstuk 3 besproken wordt er verondersteld dat er in alle gevallen ook een ketel in het ketelhuis aanwezig is. De ketel wordt gebruikt als back-up voorziening, maar kan ook op piek-momenten worden ingezet. Uiteraard neemt de inzet van de ketel toe naarmate de capaciteit van de WKK en/of alternatieve warmtebronnen afnemen. Ook WKK wordt standaard als mogelijkheid meegenomen. In de eerste plaats omdat er ook in het transitiescenario nog plaats blijkt te zijn voor WKK, maar ook omdat heel veel tuinders een WKK hebben staan, waarvan de levensduur na revisie nog flink kan worden opgerekt.

Het zal duidelijk zijn dat de energiedrager waarvan de WKK en/of de ketel gebruik maakt bepaalt of het verbruik hiervan fossiel-vrij genoemd kan worden. Bij gebruik van aardgas leveren WKK en ketel dus grote beperkingen aan een fossiel-vrije tuinbouw, maar als de WKK en ketel gebruik maken van fossiel-vrije brandstoffen zoals groen gas of biodiesel wordt de inzet en capaciteit van deze installaties geheel bepaald door de economische afweging.

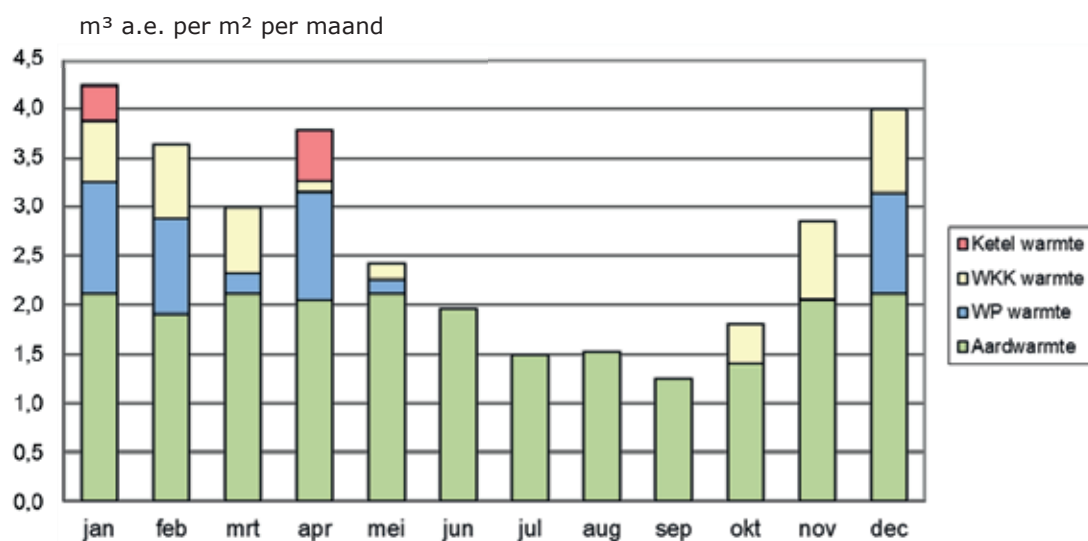
In de prijzen die voor energiedragers worden gerekend in het referentie-scenario, het transitiescenario en het duurzame scenario zit impliciet besloten dat alleen in dat laatste geval wordt uitgegaan van groen-gas als brandstof voor WKK en/of ketel. In de eerste twee scenario's wordt aardgas verondersteld omdat dit incl. EB+ODE (en voor het transitie scenario CO-heffing) de goedkoopste energiebron blijft.

In de volgende paragraaf wordt aan de hand van één voorbeeld het ketelhuissimulatieprogramma uiteengezet.

5.3 Ketelhuissimulatie voor een belichte tomatenteelt in het transitie-scenario

In deze paragraaf wordt het resultaat van zo'n geoptimaliseerde inzet van warmtebronnen getoond. Bij wijze van voorbeeld wordt ingezoomd op een belichte tomatenteelt die gebruik maakt van aardwarmte in combinatie met een warmtepomp en een WKK. Uiteraard is er voor de pieken ook nog een ketel, die ook de rol van backup-voorziening heeft. Het betreft dus een 'ketelhuis' zoals die in Figuur 3.3 geschetst is. Qua prijssetting voor energie en infrastructuur zijn de aannamen van het Transitiescenario gehanteerd (zie § 4.2).

In onderstaande grafiek is het simulatieprogramma toegepast op de huidige standaard kas, dus de kas met een jaarlijkse warmtevraag van $31.9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en een elektriciteitsvraag van $340 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Het ketelhuissimulatieprogramma berekent dan dat bij gebruik van de combinatie WKK, Aardwarmte + Warmtepomp en ketel een optimale capaciteitskeus van $100 \text{ kWe}/\text{ha}$ voor de WKK en een aardwarmtecapaciteit van $250 \text{ kW}/\text{ha}$. De warmtepomp die bijgeschakeld kan worden bij een hoge warmtevraag heeft $27 \text{ kWe}/\text{ha}$ aandrijfvermogen. Onderstaande Figuur toont de geoptimaliseerde inzet van deze apparaten over het jaar.



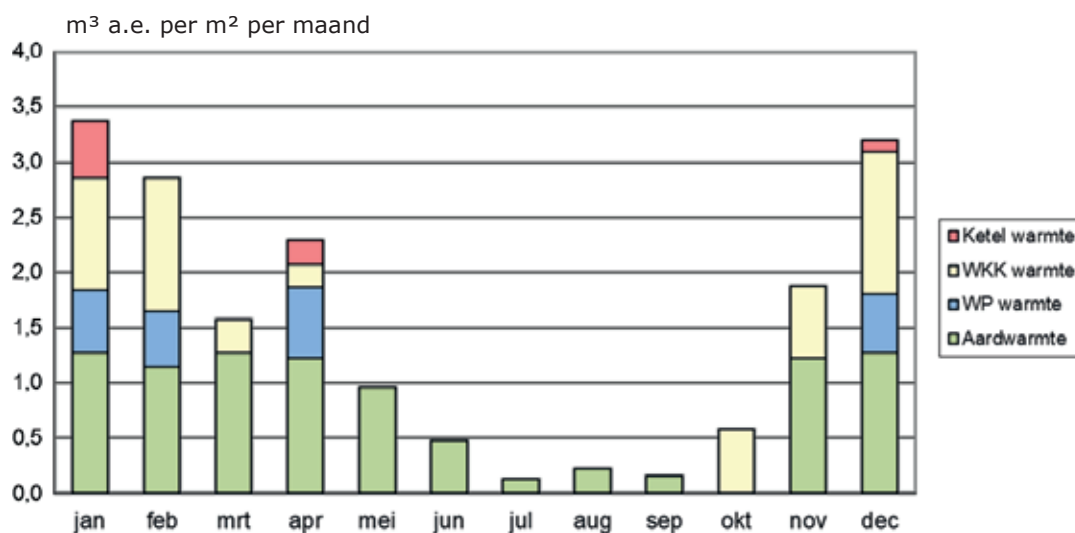
De grafiek toont dat er een basis-inzet is van aardwarmte, waarvan het verwarmingsvermogen in de koude maanden wordt verhoogd door de warmtepomp.

Daarnaast draait de WKK in de wintermaanden, vooral ter ondersteuning van de elektriciteitsvraag voor de belichting.

Tenslotte springt de ketel nog een beetje bij op de koudste dagen, maar ook in april waar door het uitschakelen van de belichting de kas weer wat meer warmte gaat vragen.

Op jaarbasis levert de aardwarmtebron direct 22.1 m³ a.e. per m² (69% van de warmtevraag). De warmtepomp die de aardwarmte verder uitkoelt levert 4.6 m³/m², 14% van de warmtevraag. De WKK levert met 4.4 m³ a.e. vrijwel dezelfde bijdrage. De ketel gebruikt 0.9 m³/m² per jaar en dat is 3% van de warmtevraag.

Als dezelfde inrichting van het ketelhuis zou worden gebruikt voor de warmtevoorziening van een kas met de in hoofdstuk 2 genoemde energiebesparende maatregelen dan bedraagt de warmtevraag slechts 17.7 m³/m² per jaar.



Voor deze situatie berekent het ketelhuis simulatieprogramma van AAB dat het optimale WKK vermogen dan 200 kWe per ha zal zijn. Er blijkt dan dus opvallend genoeg voor een grotere WKK gekozen te worden. Dit is verklaarbaar door de kleiner gekozen aardwarme aansluiting en daardoor de relatief grotere behoefte aan extra warmte in de winter. Die kleiner gekozen geothermische aansluiting komt doordat in een energie-zuinige de warmtevraag in de zomer vrijwel verdwijnt en de geothermische warmtebron een klein aantal equivalente vollasturen kan maken.

De combinatie van minder warmte uit geothermie in de winter, samen met een behoorlijke elektriciteitsvraag en de CO₂ die de WKK levert blijkt dan voldoende aanleiding om in het transitiescenario voor de energiezuinige kas een grotere WKK te kiezen dan voor de standaard-kas. Omdat de geothermische aansluiting kleiner is wordt ook de daarbij passende warmtepomp kleiner, 16 kWe aandrijfvermogen per ha.

Op jaarbasis levert de aardwarmtebron in dit geval 9.4 m³ a.e per m² (53%) en de warmtepomp 2.2 m³/m² (13%). De WKK levert nu 5.3 m³ a.e. aan warmte (30%) en dat is dus meer dan in het geval er een standaardkas gebruikt werd. De ketel levert 0.8 m³ a.e. aan warmte.

De grafiek laat ook zien dat de WKK de hele zomer door niet gebruikt wordt. In de prijsstelling van het transitiescenario is inkoop van CO₂ in de zomer voordeliger dan gebruik van de WKK voor de productie van CO₂ en levering van stroom aan het openbaar net. De restwarmte van de WKK heeft dan namelijk totaal geen waarde.

De optimalisatie van de te gebruiken capaciteiten en de optimalisatie van de inzet van de verschillende apparaten is gebaseerd op de kosten (en voor de WKK ook de opbrengsten uit stroom-verkoop). Onder de prijzen die voor het transitie-scenario zijn gehanteerd kwamen de integrale kosten voor de energievoorziening van de standaardkas met de genoemde ketelhuisconfiguratie op € 45,98 per m² per jaar. Dit zijn de kosten voor warmte, stroom en CO₂ en tevens de kosten voor onderhoud en afschrijving van de installaties.

Voor de energiezuinige kas werden de integrale kosten berekend op € 44,95 per m² per jaar. In dit bedrag zitten ook weer de onderhouds- en afschrijvingskosten van de energiebesparende systemen (extra scherm, ontvochtiging met voelbare warmteterugwinning (WTW-apparaat), LED-belichting).

Behalve voor het 'ketelhuis' met aardwarmte, WKK en warmtepomp heeft het AAB simulatieprogramma ook alle andere opties doorgerekend. De resultaten van deze berekeningen voor de belichte tomatenteelt staan in onderstaande tabel. De Tabel bestaat uit twee blokken. Het eerste blok betreft de berekeningen aan de referentiekas en het tweede blok gaat over de energiezuinige kas.

Tomaat belicht

Referentie kas	Transitie		
	E-kosten €/m ²	WKK kW _e	Alt. W. kW _{th}
Opties			
WKK	51.77	0	0
Aardwarmte en WKK	46.53	200	300
Aardwarmte + WP en WKK	45.98	100	250
HT warmte en WKK	47.24	100	400
LT warmte + WP en WKK	47.94	100	400
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	45.63	100	400
Kaswarmte + WP en WKK	48.14	100	300
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	48.57	100	300

E-zuinige kas	Transitie		
	E-kosten €/m ²	WKK kW _e	Alt. W. kW _{th}
Opties			
WKK	45.93	300	0
Aardwarmte en WKK	45.34	200	200
Aardwarmte + WP en WKK	44.95	200	150
HT warmte en WKK	44.61	100	300
LT warmte + WP en WKK	45.21	100	300
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	44.09	100	300
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	300	0
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	300	0

De Tabel laat zien dat zowel voor de Referentiekas als voor de Energiezuinige kas onder het prijsregime van het transitiescenario een ketelhuis met alleen een ketel en WKK tot de hoogste integrale energiekosten leiden. De toepassing van alternatieve, fossielvrije energie loont in alle gevallen en in alle gevallen is ook de toepassing van een energiezuinige kas kosten-effectief. De laagste energiekosten worden gerealiseerd bij toepassing van oppervlaktewater in combinatie met seizoenopslag. Uiteraard is hierbij een warmtepomp nodig en er wordt in dat geval ook nog een kleine WKK gebruikt. Zoals verderop in dit hoofdstuk zal blijken levert de toepassing van oppervlaktewater in heel veel gevallen de voordeligste oplossing. Daarmee is dit een veelbelovende techniek die evenwel nog niet wordt toegepast. Uiteraard zal het perspectief sterk bepaald worden door de afstand waarop oppervlaktewater betrokken kan worden. Is die afstand groot dan zullen de kosten snel oplopen en zal deze techniek zijn plaats in de ranglijst moeten opgeven.

De toepassing van kaswarmte in de belichte tomatenteelt onder het transitiescenario is alleen interessant als alle andere opties niet mogelijk zijn, dus als er geen oppervlaktewater in de buurt is, geen hoogwaardige of laagwaardige restwarmte en ook geen geothermie. Voor de energiezuinige kas is de toepassing van kaswarmte in het geheel niet interessant. Het levert onder het transitiescenario hogere integrale energiekosten op dan bij gebruik van WKK en daarom staat er daar in de Tabel n.v.t..

De Tabel laat ook zien dat bij gebruik van aardwarmte, de toevoeging van een warmtepomp die het water verder kan uitkoelen op momenten met een grote warmtevraag de energiekosten doet verlagen. Daarbij toont de Tabel dat als er een warmtepomp aan het geothermie-systeem wordt toegevoegd dat dan de gewenste aansluitcapaciteit op de geothermische bron afneemt. Doorgeredeneerd naar gebiedsniveau kan de toevoeging van warmtepompen het kaasoppervlak dat economisch gezien op een geothermische bron kan worden aangesloten 20 tot 25% groter worden waarmee de bron beter zal worden benut.

5.4 Energie-optimalisaties voor de 6 teelten onder de verschillende prijsscenario's

Berekeningen zoals in de vorige paragraaf uitgelegd en toegelicht zijn voor alle 6 de teelten en voor de drie verschillende prijsscenario's gemaakt. Eigenlijk zijn het zelfs 4 prijsscenario's, maar het 4^e prijsscenario is in alle opzichte gelijk aan het 3^e, met uitzondering van de capaciteits- en GJ-kosten van geothermie. Dit extra scenario is opgenomen in verband met de grote onzekerheid met betrekking tot geothermie.

In de volgende paragrafen worden de resultaten van alle teelten gepresenteerd en besproken.

5.4.1 Onbelichte tomatenteelt

Referentie kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	8.33	400	0	21.27	0	0	25.38	0	0			
Aardwarmte en WKK	7.87	300	100	15.08	0	400	22.66	0	300	16.37	0	500
Aardwarmte + WP en WKK	8.20	200	200	14.88	0	250	20.40	0	250	16.03	0	250
HT warmte en WKK	8.12	300	400	15.00	0	500	18.37	0	500			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	400	0	17.96	100	400	21.74	0	300			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	400	0	15.58	100	500	15.43	0	500			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	400	0	20.75	200	200	22.95	0	300			
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	400	0	18.04	200	500	17.97	0	500			

E-zuinige kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	7.20	300	0	15.92	100	0	19.05	0	0			
Aardwarmte en WKK	n.v.t.	300	0	13.64	0	300	18.47	0	100	15.17	0	300
Aardwarmte + WP en WKK	n.v.t.	300	0	12.74	0	250	17.57	0	150	14.00	0	250
HT warmte en WKK	n.v.t.	300	0	12.38	0	500	16.12	0	300			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	300	0	14.53	100	300	18.12	0	200			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	300	0	13.02	100	400	13.65	0	400			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	300	0	n.v.t.	100	0	n.v.t.	0	0			
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	300	0	15.16	100	400	15.52	0	400			

Voor de onbelichte tomatenteelt in het referentiescenario komt geothermie in combinatie met WKK als gunstigste optie voor de standaard kas. Uiteraard hoort hier een wat kleinere WKK bij dan in geval een bedrijf geen alternatieve warmtebronnen gebruikt, maar daar waar een praktijkbedrijf vanuit een bestaande situatie op een geothermisch netwerk wordt aangesloten zal de tuinder in de regel doorgaan met het WKK vermogen van vóór de aansluiting.

Bij gebruik van een energiezuinige kas dalen de integrale kosten, maar zal er geen gebruik gemaakt worden van alternatieve warmtebronnen.

In het transitie scenario levert aardwarmte voor de standaard-kas nog steeds de laagste integrale energiekosten, maar dan moet er wel een warmtepomp bij geplaatst worden en verdwijnt de WKK van het toneel.

Ook voor de energiezuinige kas levert de toepassing van geothermie met extra uitkoeling door middel van een warmtepomp lage energiekosten, maar blijkt de toepassing van hoogt-temperatuur afvalwarmte vanuit de industrie tot nog iets lagere energiekosten te leiden en ook dan wordt er geen gebruik meer gemaakt van WKK.

In het duurzame prijsscenario levert de toepassing van warmte uit oppervlaktewater voor allebei de kastypen (standaard en energiezuinig) de laagste energiekosten op. Die zijn dan uiteraard wel hoger dan in het transitie scenario en het dubbele van de energiekosten onder de huidige marktcondities.

Een goede tweede optie onder het duurzame prijsregime is dan het gebruik van kaswarmte in combinatie met WKO. Dit is een logisch gevolg van het feit dat de daarbij toegepaste techniek veel overeenkomsten vertoont met het gebruik van warmte uit oppervlaktewater. Het verschil komt doordat de regeneratie van de aquifer in de zomer met verzamelde kaswarmte wat duurder is dan regeneratie van de aquifer met warmte uit oppervlaktewater.

Indien echter geothermie half zo duur zou worden als wat op grond van de huidige trends wordt verwacht, wordt dit voor beide kastypen de meest aangewezen warmtebron.

Ook hier levert het gebruik van de warmtepomp voor een extra uitkoeling van de geothermische warmte weer een verlaging van de integrale energiekosten doordat de benodigde aansluitcapaciteit daarmee verlaagd kan worden.

5.4.2 Belichte tomatenteelt

Het rekenmodel berekent voor de tomatenteelt in het referentie-prijsscenario (de huidige prijzen) voor de standaard kas een klein voordeel voor de toevoeging van een geothermische warmtebron aan de energie-infrastructuur. Dit betreft dan een aansluiting met een klein vermogen en zonder warmtepomp die het benutbare vermogen kan vergroten. Voor de energiezuinige kas in het referentie-prijsscenario leiden alle opties met alternatieve warmtebronnen tot hogere integrale energiekosten dan wanneer alleen WKK wordt gebruikt. Omdat het energieverbruik van de energiezuinige kas zowel qua stroom als qua warmte beduidend lager is is optimale vermogen van de WKK kleiner dan voor de standaardkas. Opvallend is dat de integrale energiekosten voor de energiezuinige kas hoger zijn dan die van de standaardkas, wat betekent dat voor de belichte tomatenteelt het pakket aan energiebesparende maatregelen onder het huidige prijsscenario niet lonend is.

Referentie kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	30.67	500	0	51.77	0	0	54.64	0	0			
Aardwarmte en WKK	30.57	400	100	46.53	200	300	52.64	0	200	48.43	0	300
Aardwarmte + WP en WKK	n.v.t.	500	0	45.98	100	250	51.49	0	200	47.53	0	250
HT warmte en WKK	n.v.t.	500	0	47.24	100	400	50.10	0	300			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	500	0	47.94	100	400	52.71	100	200			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	500	0	45.63	100	400	48.17	0	400			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	500	0	48.14	100	300	50.85	100	300			
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	500	0	48.57	100	300	51.28	100	300			

E-zuinige kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	32.46	400	0	45.93	300	0	46.12	0	0			
Aardwarmte en WKK	n.v.t.	400	0	45.34	200	200	n.v.t.	0	0	44.32	0	200
Aardwarmte + WP en WKK	n.v.t.	400	0	44.95	200	150	45.67	0	50	43.79	0	200
HT warmte en WKK	n.v.t.	400	0	44.61	100	300	45.00	0	200			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	400	0	45.21	100	300	n.v.t.	0	0			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	400	0	44.09	100	300	43.46	0	400			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	400	0	n.v.t.	300	0	n.v.t.	0	0			
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	400	0	n.v.t.	300	0	n.v.t.	0	0			

De middelste kolom, geldend voor het transitie scenario is in § 5.3 bij de toelichting van de werking van het AAB ketelhuissimulatieprogramma besproken.

Onder het prijsregime van het transitie scenario leiden de verschillende alternatieve warmtebronnen wél tot kostprijsverlagingen ten opzichte van de nu gebruikelijke techniek.

Bij dit prijs scenario is ook de toepassing van een energiezuinige kas kosten-effectief. De laagste energiekosten worden gerealiseerd bij toepassing van oppervlaktewater in combinatie met seizoensopslag en een warmtepomp. Het model berekent dat er dan ook nog een kleine WKK aan het energievoorzieningssysteem zou moeten worden toegevoegd.

Als het gebruik van oppervlaktewater niet mogelijk is komen alternatieve warmtebronnen in een of andere warmte-infrastructuur in beeld als interessante optie.

Pas als aansluiting op een warmte-infrastructuur niet mogelijk is komt voor de standaard-kas de toepassing van kaswarmte in beeld. Voor de energiezuinige kas is de toepassing van kaswarmte in het geheel niet interessant.

In het duurzame prijs scenario blijft de rangorde van alternatieve warmtevoorzieningssystemen vrijwel ongewijzigd, maar verdwijnt bijna overal de WKK. Alleen voor de standaard-kas, waar een grote elektriciteitsbehoefte is en die nog groter wordt bij gebruik van een warmtepomp blijft een (kleine) WKK interessant. Bij de energiezuinige kas is de WKK onder het duurzame prijs scenario niet meer kosteneffectief.

Indien door technische vooruitgang geothermie voor de helft van de kosten die nu ingeschat worden kan worden gerealiseerd komt geothermie, ondersteund met een warmtepomp voor een extra uitkoelingsmogelijkheid, als meest aantrekkelijke alternatief naar voren.

5.4.3 Belichte Chrysantenteelt

Onder het huidige prijsscenario zijn geen van de alternatieve energie-systemen kosteneffectief ten opzichte van het gebruikelijke systeem, en dat is een WKK in combinatie met een ketel. De berekeningen geven aan dat onder het huidige prijsscenario ook investeringen in een energiezuinige kas niet lonend zijn.

Referentie kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	16.27	400	0	30.51	300	0	32.44	0	0			
Aardwarmte en WKK	n.v.t.	400	0	28.20	200	200	30.77	0	100	26.94	0	300
Aardwarmte + WP en WKK	n.v.t.	400	0	28.13	0	200	29.27	0	150	26.16	0	200
HT warmte en WKK	n.v.t.	400	0	28.66	200	300	28.23	0	300			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	400	0	29.33	100	300	30.08	0	200			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	400	0	27.72	100	300	28.50	0	300			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	400	0	n.v.t.	300	0	29.57	0	300			
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	400	0	30.28	100	300	29.28	0	300			

E-zuinige kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m ²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	19.27	300	0	28.01	300	0	29.79	0	0			
Aardwarmte en WKK	n.v.t.	300	0	27.20	300	100	29.28	0	100	26.79	0	200
Aardwarmte + WP en WKK	n.v.t.	300	0	27.47	100	150	28.44	0	100	26.19	0	150
HT warmte en WKK	n.v.t.	300	0	27.24	200	200	27.54	0	200			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	300	0	28.01	200	200	28.69	0	100			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	300	0	27.35	200	200	26.05	0	300			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	300	0	n.v.t.	300	0	n.v.t.	0	0			
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	300	0	n.v.t.	300	0	28.46	0	300			

Onder de prijzen van het transitie-scenario leidt een energiezuinige kas wél tot lagere energiekosten en de inzet van alternatieve warmtebronnen leidt dan in de meeste gevallen tot lagere integrale energiekosten.

Voor de standaard kas komt de benutting van oppervlaktewater als beste uit de bus, maar voor de energiezuinige kas is dat geothermie, op de voet gevolgd door hoog-temperatuur restwarmte.

Opvallend genoeg is voor de chrysantenteelt in een energiezuinige kas de toevoeging van een warmtepomp die de geothermische warmte verder kan uitkoelen niet kosten-effectief. Dit kan echter komen door de vrij grove vermogensstappen waarmee de optimalisatie wordt uitgevoerd, want het is ook duidelijk dat de verschillen in de berekende integrale kostprijzen bij de chrysantenteelt allemaal heel klein zijn. Kleine verschillen in uitgangspunten leveren dan een andere ranking op, maar het effect op de integrale kostprijs voor energie blijft gering.

Nog anders gezegd: voor chrysantentelers leveren alle alternatieve warmtevoorzieningssystemen een voordeel en het maakt niet zoveel uit welke mogelijkheid zich voor hun locatie voordoet.

Dit geldt ook onder het duurzame prijsscenario, waarbij uiteraard onder alle opties een geothermische bron die voor de helft van de nu geprognosticeerde kosten kan worden aangelegd de laagste integrale energiekosten oplevert.

Indien geothermie niet voor deze lage prijs kan worden aangeboden levert het gebruik van oppervlaktewater natuurlijk weer de laagste integrale energiekosten.

5.4.4 Belichte Alstroemeriateelt

De Alstroemeriateelt laat in dit onderzoek een sterk afwijkend beeld zien omdat deze teelt op het moment een sterke intensiveringsslag doormaakt. In de energiezuinige kas worden weliswaar energiezuinige technieken toegepast zoals efficiënte ontvochtiging, extra schermen en LED, maar wordt ook de belichtingsintensiteit verdubbeld, waardoor de energiekosten fors zullen oplopen. Door de extra belichting zal de productie echter fors toenemen waarmee de extra energie uitgaven gecompenseerd kunnen worden.

Net als bij de Chrysantenteelt, is onder het huidige prijsscenario de toepassing van alternatieve warmtebronnen in de Alstroemeriateelt niet interessant. Voor de standaardkas is een WKK van 200 kWe/ha de meest voor de hand liggende invulling van het 'ketelhuis' en voor de kas met energiezuinige installaties voldoet een WKK half zo groot is.

Referentie kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	15.99	200	0	26.73	200	0	25.96	0	0			
Aardwarmte en WKK	n.v.t.	200	0	25.39	100	100	25.50	100	100	23.75	100	100
Aardwarmte + WP en WKK	n.v.t.	200	0	25.32	0	100	25.10	0	100	23.35	0	100
HT warmte en WKK	n.v.t.	200	0	26.09	0	200	24.47	0	100			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	200	0	26.72	100	100	n.v.t.	0	0			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	200	0	25.93	0	200	24.22	0	200			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	200	0	n.v.t.	200	0	25.77	0	200			
Koeling + Kasw. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	200	0	26.71	0	200	25.18	0	200			

E-zuinige kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	30.52	100	0	38.12	100	0	38.23	0	0			
Aardwarmte en WKK	n.v.t.	100	0	n.v.t.	100	0	n.v.t.	0	0	35.86	0	100
Aardwarmte + WP en WKK	n.v.t.	100	0	37.86	0	50	n.v.t.	0	50	35.37	0	50
HT warmte en WKK	n.v.t.	100	0	38.06	0	100	38.14	0	100			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	100	0	n.v.t.	100	0	n.v.t.	0	0			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	100	0	38.11	0	100	35.73	0	100			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	100	0	n.v.t.	100	0	38.18	0	100			
Koeling + WP/KWO en WKK	n.v.t.	100	0	37.73	0	100	35.40	0	100			

In het transitie-scenario levert geothermie de laagste integrale energiekosten, maar het valt direct op dat de verschillen in kosten bij gebruik van de verschillende alternatieve warmtebronnen heel erg klein is. Voor de Alstroemeriateelt geldt dus hetzelfde als voor de Chrysantenteelt, namelijk dat het nauwelijks uitmaakt welk systeem voor de energievoorziening gebruikt wordt.

Voor de Alstroemeriateelt is zelfs het momenteel gangbare systeem van ketel en WKK onder het transitiescenario niet veel duurder dan het goedkoopste alternatieve systeem. Voor de standaardkas is dat een geothermische bron met een capaciteit van 100 kW/ha en voor de energiezuinige kas is dat het gebruik van de warmte die in de zomer bij de grondkoeling beschikbaar komt (na opslag in een seizoensbuffer).

WKK levert hier nauwelijks voordelen op, dus waar bij de ketelhuisopties door het model toch nog een WKK wordt berekend gaat dat om kleine vermogens (100 tot 200 kWe/ha).

Onder het duurzame prijsscenario zijn de verschillen tussen de verschillende opties nóg kleiner. Indien geothermie in de toekomst voor minder dan de nu verwachte kosten kan worden geëxploiteerd leidt dit tot de laagste kosten en anders is dit voor de standaard kas het gebruik van oppervlaktewater.

Voor de energiezuinige kas is het gebruik van de zomerse warmte-overschotten uit de grondkoeling, na opslag in een seizoensbuffer en gebruik van een warmtepomp ook hier weer heel goede mogelijkheden voor een kosten-effectieve invulling van duurzame energie voor de verwarming.

5.4.5 Warme potplantenteelt

Voor de warme potplantenteelt zijn ook onder het huidige prijsscenario verschillende alternatieve warmtevoorzieningssystemen concurrerend met het gebruik van WKK en ketel. Hier wordt over 'concurrerend' gesproken omdat de integrale energiekosten slechts een paar dubbeltjes ten opzichte van elkaar verschillen.

Ook investeringen in een energiezuinige kas (dus dat betekent een extra scherm en een energiezuinig ontvochtigingssysteem) pakken voor de warme potplantenteelt positief uit, hoewel ook hier de verschillen ten opzichte van de standaardkas niet groot zijn.

Uiteraard zien we dat overal waar alternatieve warmtebronnen worden ingezet de WKK kleiner moet worden gekozen.

Opvallend is dat onder het huidige prijsscenario de WKK wel altijd onderdeel blijft uitmaken van een kosteneffectieve energievoorziening.

Referentie kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	7.15	500	0	18.49	0	0	22.11	0	0			
Aardwarmte en WKK	6.49	300	200	11.49	0	400	17.86	0	300	11.98	0	400
Aardwarmte + WP en WKK	6.35	100	200	10.44	0	250	15.12	0	250	10.75	0	250
HT warmte en WKK	6.83	100	400	11.25	0	500	13.76	0	400			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	500	0	13.53	100	400	18.07	0	300			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	6.80	100	300	11.18	0	400	10.21	0	400			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	500	0	17.81	100	300	18.40	0	300			
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	500	0	15.21	100	400	13.77	0	400			

E-zuinige kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	6.77	300	0	14.84	100	0	17.35	0	0			
Aardwarmte en WKK	6.75	300	100	11.19	0	300	15.78	0	200	11.67	0	300
Aardwarmte + WP en WKK	6.72	100	150	9.99	0	250	13.93	0	150	10.33	0	250
HT warmte en WKK	6.58	100	300	10.23	0	400	12.71	0	300			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	300	0	12.06	100	300	14.49	0	200			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	6.69	100	200	10.49	0	400	10.09	0	400			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	300	0	14.82	0	200	15.66	0	200			
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	300	0	13.08	100	300	12.40	0	400			

In het transitie-scenario is geothermie voor de warme potplantenteelt het eerst aangewezen systeem. Omdat de benutbaarheid van geothermische warmte belangrijk oploopt bij toevoeging van een warmtepomp zien we dat dat ook hier weer aanbevelenswaardig is.

Het gebruik van oppervlakte water in combinatie met een seizoensopslagsysteem en een warmtepomp is een goede tweede optie. Alleen als er geen mogelijkheden zijn om het bedrijf aan te sluiten op een energie-infrastructuur (met hoogwaardige of laagwaardige energie) biedt het gebruik van kaswarmte in combinatie met WKO en een warmtepomp mogelijkheden. Omdat de warmtepomp elektrisch wordt aangedreven wordt de toevoeging van een kleine WKK-installatie daarbij ook aantrekkelijk.

Onder het duurzame prijsscenario blijft het gebruik van oppervlaktewater de laagste integrale energiekosten opleveren, gevolgd door het gebruik van kaswarmte met WKO en een warmtepomp.

Geothermie komt bij gebruik van de geprognosticeerde kosten op de derde plaats, maar zou geothermie voor de helft van de kosten kunnen worden gerealiseerd dan behoren de integrale energie kosten bij gebruik van geothermische warmte tot de goedkoopste mogelijkheden invulling voor de warme potplantenteelt.

Net zoals bij alle andere teelten is onder het duurzame prijsscenario WKK geen kosten-effectieve optie.

5.4.6 Radijzenteelt

In de radijzenteelt is de warmtevraag erg laag, maar omdat het gebruik van WKK met teruglevering aan het openbare net een substantiële inkomstenbron vormt is volgens het AAB simulatieprogramma ook voor deze teelt het gebruik van WKK onder het huidige prijsscenario interessant. Natuurlijk zal dit een kleine machine zijn. De aansluiting op een hoog-temperatuur warmte-infrastructuur kan economisch ook nog aantrekkelijk zijn, hoewel de verlaging van de energiekosten minimaal is.

Investeren in een energiezuinige kas levert voor de Radijzenteelt geen besparing op integrale energiekosten.

Niet in het referentie-prijsscenario, niet in het transitie-scenario en ook niet in het duurzame scenario. Het absolute energieverbruik is zo laag dat de meerkosten in duurdere installaties niet terugverdiend worden.

Referentie kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	2.76	200	0	5.75	0	0	6.59	0	0			
Aardwarmte en WKK	n.v.t.	200	0	5.29	0	100	n.v.t.	0	0	5.58	0	100
Aardwarmte + WP en WKK	n.v.t.	200	0	5.05	0	100	6.55	0	50	5.15	0	150
HT warmte en WKK	2.73	100	200	4.11	0	300	5.76	0	100			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	200	0	5.10	0	200	8.57	0	100			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	200	0	4.48	0	200	4.33	0	200			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	200	0	n.v.t.	0	0	n.v.t.	0	0			
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	200	0	5.48	0	200	5.14	0	200			

E-zuinige kas	Referentie			Transitie			Duurzaam			Duurzaam (Geo 50%)		
	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth	E-kosten €/m²	WKK kWe	Alt. W. kWth
Opties												
WKK	3.19	100	0	5.04	0	0	5.31	0	0			
Aardwarmte en WKK	n.v.t.	100	0	5.04	0	100	n.v.t.	0	0	5.12	0	100
Aardwarmte + WP en WKK	n.v.t.	100	0	4.73	0	50	n.v.t.	0	0	4.71	0	50
HT warmte en WKK	n.v.t.	100	0	4.23	0	100	5.19	0	100			
LT warmte + WP en WKK	n.v.t.	100	0	4.67	0	100	n.v.t.	0	0			
Oppervl. Wat. + WP/KWO en WKK	n.v.t.	100	0	4.42	0	100	4.39	0	100			
Kaswarmte + WP en WKK	n.v.t.	100	0	n.v.t.	0	0	n.v.t.	0	0			
Kaswarmte + WP/KWO en WKK	n.v.t.	100	0	4.48	0	100	4.45	0	100			

In het transitie-scenario blijkt de aansluiting op een hoog-temperatuur energie-infrastructuur de laagste integrale energiekosten op te leveren, gevolgd door het gebruik van oppervlakte water in combinatie met een seizoesopslagsysteem en een warmtepomp.

Geothermie komt op de derde plaats, maar dan moet deze wel met een warmtepomp extra kunnen worden uitgeoeld om de capaciteit als het nodig is te kunnen vergroten.

Gebruik van WKK is in het transitie-prijsscenario niet aan de orde.

Onder het duurzame prijsscenario blijft het gebruik van oppervlaktewater de laagste integrale energiekosten opleveren, gevolgd door het gebruik van kaswarmte met WKO.

Geothermie is onder het duurzame prijsscenario alleen relevant als dit voor de helft van de kosten die op dit moment geprognosticeerd worden kan worden gerealiseerd, maar ook dan staat geothermie op de derde plaats.

5.5 Conclusies uit de scenarioberekeningen

De scenarioberekeningen laten een palet aan opties zien en tonen dat het selecteren van de gunstigste optie een kwestie van maatwerk is.

Toch kunnen er een paar trends worden aangegeven.

In de eerste plaats komt naar voren dat in het huidige prijsscenario slechts in twee gevallen de inzet van alternatieve warmtebronnen een verlaging van de integrale energiekosten oplevert (€0.50 (onbelichte tomaat) tot €0.80 (potplanten)). Voor de andere teelten leveren alternatieve energiebronnen geen voordeel op. Dit komt vooral door de huidige lage energiekosten en gunstige terugleveringsvoorwaarden van elektriciteit aan het openbare net, waardoor de meeste bedrijven over een goedkope warmtebron beschikken. Om dezelfde reden is in de meeste gevallen ook de investering in een energiezuinige kas niet rendabel. Alleen bij de onbelichte tomatenteelt en de warme potplantenteelt levert het gebruik van een energiezuinige kas onder het huidige prijsscenario een verlaging van de integrale energiekosten.

Onder het transitie-scenario en onder het duurzame prijsscenario levert een energiezuinige kas in de regel wél een kostenvoordeel. Alleen bij de teelt van radijs is het absolute energieverbruik te laag om de investeringen in een energiezuinige kas te rechtvaardigen en over de Alstroemeriateelt kan daar in deze studie niets over geconcludeerd worden omdat in de energiezuinige Alstroemeriakas een veel hogere lichtintensiteit wordt aangehouden dan in de bijbehorende referentiekas. Daardoor lopen daar de energiekosten flink op, maar zal ook de productie beduidend toenemen.

Daar waar alternatieve warmtebronnen worden ingezet wordt bijna overal gebruik gemaakt van een warmtepomp. Daarmee kan gesteld worden dat de warmtepomptechniek, die momenteel nog maar op weinig tuinbouwbedrijven te vinden is, in de toekomst de centrale rol van de WKK zal gaan vervangen. Het toegepaste WKK vermogen neemt onder het transitie scenario duidelijk af ten opzichte van de huidige praktijk en in het duurzame prijs scenario blijkt de WKK nergens meer kosten-effectief.

Het gebruik van oppervlaktewater als warmtebron voor het regenereren van een aquifer die in de winter is uitgeoeld voor de verwarming van de kas door middel van een warmtepomp komt overal als aantrekkelijke optie naar voren. Uiteraard heeft dit te maken met lage kosten die voor deze regeneratie verwacht worden. Uitdrukkelijk staat hier 'verwacht', want deze veelbelovende techniek wordt nog niet toegepast.

Geothermie biedt uiteraard ook perspectieven, met name wanneer de voortschrijding van de techniek de kostprijs kan laten dalen. Hierover is nog geen duidelijkheid, waardoor er steeds is gekeken naar de ranking van opties bij een kostprijs van geothermie zoals die op grond van de huidige verwachtingen wordt ingeschat en een optimistische inschatting waarbij geothermie half zo goedkoop kan worden.

In verreweg de meeste gevallen is het verstandig om bij gebruik van geothermie ook een warmtepomp te plaatsen die tijdens koude perioden extra warmte aan de geothermische aansluiting kan onttrekken door de retourtemperatuur naar 15 tot 20°C te verlagen.

Het gebruik van kaswarmte voor de laagwaardige warmtevoorziening van de kas is een duurzame optie die in de regel een verlaging van de integrale energiekosten oplevert, maar bijna altijd duurder is dan de andere alternatieve systemen. Van deze techniek kan dus gezegd worden dat die alleen relevant is voor tuinders die niet in de buurt van restwarmte infrastructuur gevestigd zijn. Ook kan over deze techniek gezegd worden dat er, in tegenstelling tot geothermie en restwarmte, nog maar weinig ervaring mee is opgedaan zodat de kostprijs wellicht wat lager kan uitpakken dan in dit onderzoek is aangenomen.

Een belangrijke conclusie is ook dat de gevoeligheid voor de verschillende opties per teelt heel sterk verschilt. In de radizenteelt is het energieverbruik zeer laag. De kosten voor energie zijn daarmee ook laag, zodat de spreiding in de kostprijsdaling door de toepassing van alternatieve warmtebronnen niet meer dan €0.50 is. Bij de Alstroemeriateelt verschillen de integrale energiekosten bij alle 'ketelhuisopties' ook weinig (ordegrootte €1.50). Bij de Chrysantenteelt kunnen alternatieve warmtebronnen de integrale energiekosten in de orde grootte van €3 verlagen ten opzichte van de standaard (ketelhuis met WKK).

In de belichte tomatenteelt beslaat de range aan opties €6 per m² per jaar en in de onbelichte tomatenteelt levert de goedkoopste alternatieve warmtebron (oppervlaktewater met WP en WKO) onder het duurzame prijs scenario een besparing van €10 per m² per jaar.

Bij de warme potplantenteelt zien we onder het duurzame scenario de grootste spreiding, €12 per m² per jaar.

De genoemde ranges gelden onder het duurzame prijs scenario, maar onder het transitie scenario is eenzelfde trend waarneembaar, zij het met kleinere ranges.

Vooral voor warme potplantentelers zonder belichting, maar ook voor tomatentelers is het dus van groot belang om zich goed te verdiepen in de mogelijkheden van alternatieve energiebronnen voor hun bedrijfslocatie.

Tenslotte is een belangrijke conclusie uit de scenariostudies dat opties die onder het transitie scenario de integrale energiekosten minimaliseren ook in het duurzame scenario nog steeds kosteneffectieve opties blijken te zijn. Investerings die voor de middellange termijn worden gedaan behouden daarmee ook op langere termijn hun waarde.

6 Conclusies

Het warmteverbruik van kassen is de laatste jaren enorm verlaagd, maar de sector leunt nog steeds zwaar op het gebruik van fossiele brandstoffen. Dit komt deels doordat er veel aardgas wordt gebruikt voor de productie van elektriciteit voor het openbare net en ook veel stroom wordt ingekocht die geproduceerd is uit gas of steenkool.

Er is echter grote maatschappelijke druk om de CO₂-emissie drastisch te verlagen en daarvoor zijn verschillende technieken beschikbaar. Deze kunnen worden onderverdeeld in technieken waarbij hoogwaardige warmte uit duurzame bron (geothermie of industriële restwarmte) over tuinbouwbedrijven wordt gedistribueerd en technieken waarbij laagwaardige warmte de voornaamste warmtebron vormt. Deze laagwaardige warmte kan van elders worden aangevoerd, maar kan ook op het tuinbouwbedrijf zelf worden verzameld tijdens een periode met een warmte- of vochtoverschot. Bij gebruik van laagwaardige warmte is een warmtepomp nodig. Maar ook bij het gebruik van geothermische warmte wordt de warmtepomp in de toekomst belangrijk. Dit blijkt uit de scenarioberekeningen die voor dit rapport zijn gemaakt. De warmtepomp vergroot dan de capaciteit van het warmte-distributienetwerk en maakt dat de geothermische bron beter benut kan worden.

Voor de meeste teelten worden de bovengenoemde alternatieve warmtebronnen echter pas kosteneffectief bij hogere energieprijzen dan die in de huidige marktomstandigheden gelden. Dit blijkt uit de scenariostudie die met het ketelhuissimulatieprogramma van Agro Advies Bureau (AAB) zijn uitgevoerd. Met dit simulatieprogramma is de economisch geoptimaliseerde inzet van alternatieve warmtebronnen voor 6 voorbeeldgewassen en drie prijsscenario's berekend.

Het eerste prijsscenario is gebaseerd op de huidige prijzen en leidt tot een lage integrale kostprijs van energie. Met 'integrale kostprijs van energie' worden de variabele kosten voor warmte, stroom en CO₂ bedoeld (commodity's en heffingen, verminderd met inkomsten uit stroomproductie), maar ook de kosten voor de installaties in het ketelhuis en in de kas.

In dit huidige prijsscenario is de integrale kostprijs van energie zodanig, dat extra investeringen in een energiezuinige kas ten opzichte van de maatregelen die moderne tuinders al nemen in de regel niet terugverdiend worden. Het gaat dan om extra investeringen in een ontvochtigingsstelsel met voelbare warmteterugwinning, LED-belichting (voor de belichte teelten) en een extra energiescherm. Alleen in de onbelichte tomatenteelt dalen onder het huidige prijsregime de integrale energiekosten wanneer er wordt geïnvesteerd in zulke energiebesparende technieken.

Voor de warme potplantenteelt zouden extra energiebesparende technieken de kosten ook laten dalen, maar onder het huidige energieprijsscenario blijkt het gebruik van geothermie of restwarmte in een standaardkas de integrale energiekosten nog meer te verlagen. Dit illustreert het gegeven dat wanneer energie goedkoop is, technieken die het energieverbruik verlagen vaak niet renderen.

Uit de berekeningen blijkt dat onder het referentie prijsscenario (de huidige marktomstandigheden) het vooral de WKK is (Warmte Kracht Koppeling) die in alle teelten een substantiële bijdrage aan de verlaging van de integrale energiekosten levert.

Naast het huidige energieprijsscenario is een duurzaam scenario geschetst wat door deskundigen als denkbaar en doeltreffend in een fossiel-vrije energie-infrastructuur wordt beschouwd. In dat scenario is aardgas niet meer voor handen en zal er veel elektriciteit uit het openbare net worden gebruikt. De aanname daarbij is dat deze elektriciteit van duurzame oorsprong is. Energie-experts verwachten dat de gemiddelde variabele kosten van deze elektriciteit niet veel hoger liggen dan de huidige niveaus. Wel zijn er daarvoor belangrijke netverzwaringen en aanpassingen in het elektriciteitsnet nodig en de verwachting is dat daardoor de vaste lasten voor aansluitvermogen wel aanzienlijk hoger zullen zijn dan nu (§ 4.2).

Er zijn ook in het duurzame scenario gasvormige, vloeibare of vaste brandstoffen beschikbaar, maar die zijn dan van kort-cyclische biogene oorsprong of geproduceerd uit duurzame energie (bijvoorbeeld waterstofgas) en relatief duur. Voor wat betreft de kosten van geothermie is het denkbaar dat er de komende jaren nieuwe technieken beschikbaar komen waarmee geothermie gemakkelijker kan worden ontsloten en daardoor beduidend goedkoper wordt. Het duurzame scenario kent daarom naast het kostprijsniveau dat als extrapolatie van de huidige ervaringen is geformuleerd, ook een geothermie-scenario waarin de kosten half zo hoog zijn.

Tussen het huidige prijsscenario en het duurzame scenario is ook een transitiescenario gedefinieerd. In dit scenario wordt het gebruik van fossiele energie ontmoedigd via een hogere energiebelasting en heffingen op CO₂ uitstoot.

Het AAB ketelhuissimulatieprogramma geeft aan dat onder het transitie-scenario en onder het duurzame prijsscenario energiezuinige kassen in de regel wél een kostenvoordeel op leveren. Een uitzondering is de teelt van radijs waar het absolute energieverbruik te laag is om ook bij hogere energieprijzen de investeringen in een energiezuinige kas te rechtvaardigen.

Voor de Alstroemeriateelt kan er met deze studie niets over de rentabiliteit van een energiezuinige Alstroemeriakas worden gezegd omdat voor die teelt met de toevoeging van extra isolatie en energie-efficiëntere installaties tegelijk ook een intensiveringsslag wordt gemaakt die tot hogere energiekosten leidt, maar ook de productie zal verhogen.

Daar waar alternatieve warmtebronnen worden ingezet wordt bijna overal gebruik gemaakt van een warmtepomp. De warmtepomp blijkt onder de toekomstige (hogere) energieprijsscenario's een welkome techniek om de inzet van duurzame warmte te kunnen vergroten tegen een beperkte toename van de integrale kosten. In een fossiel-vrije energie-infrastructuur van de tuinbouw zal de warmtepomp dan ook de plaats innemen van de WKK als dominante machine voor warmteproductie.

Het gevolg is dat tuinbouwbedrijven niet langer substantiële elektriciteitsproducenten kunnen zijn maar relatief grote afnemers van (duurzame) stroom zullen worden. Daar komt nog bij dat er een trend waarneembaar is naar het gebruik van steeds hogere lichtintensiteiten. De al eerder genoemde netverzwaringen die nodig zullen zijn komen dus door de opeenstapeling van minder eigen productie, een toename van belichting en de invoering van de warmtepomp. De eerste twee factoren spelen hierin de grootste rol.

Om warmtepompen succesvol en efficiënt te kunnen benutten is het van belang dat de verwarmingssystemen over een groot verwarmend oppervlak beschikken. In een nieuwbouw-situatie kan dit tegen geringe meerkosten worden aangebracht, maar in een bestaande kas is dit een grote operatie. Vanwege de verwachte grote rol van de warmtepomp in de toekomst zouden de nu te bouwen kassen tenminste de voorbereiding voor een verwarmingssysteem met een groot VO moeten nemen (ruime transportleidingen) en mogelijk ook al het verwarmingsnet kunnen vergroten.

Van de verschillende bestudeerde opties komt het gebruik van oppervlaktewater als duurzame warmtebron overal als aantrekkelijke optie naar voren. Uiteraard heeft dit te maken met de lage kosten die hiervoor verwacht worden. Uitdrukkelijk staat hier 'verwacht', want deze veelbelovende techniek wordt nog niet toegepast.

Geothermie biedt uiteraard ook perspectieven, met name wanneer de voortschrijding van de techniek de kostprijs kan laten dalen. Als de kostprijs-ontwikkeling van geothermie blijft zoals die op grond van de huidige situatie geëxtrapoleerd kan worden komt deze techniek in veel gevallen als tweede of derde techniek in de ranking van opties naar voren.

Het gebruik van kaswarmte voor de laagwaardige warmtevoorziening van de kas geeft ook mogelijkheden voor een duurzame verwarming van kassen, maar blijkt in veel gevallen tot de duurdere opties te behoren. Mogelijk zal kennis en ervaring met deze techniek de kostprijs nog wat kunnen verlagen, maar vooralsnog komt het gebruik van kaswarmte alleen in teelten met een koelbehoefte als voorkeurstechiek naar voren. In dit rapport gaat het dan om de Alstroemeriateelt waar het wortelmilieu in de zomer moet worden gekoeld.

Een belangrijke conclusie is ook dat de gevoeligheid voor de verschillende opties per teelt heel sterk verschilt. In de radijzenteelt is het energieverbruik zeer laag en zijn de kosten voor energie ook laag. De spreiding in de kostprijsdaling door de toepassing van alternatieve warmtebronnen is in die teelt ook niet meer dan €0.50 per m² per jaar.

Bij de Alstroemeriateelt verschillen de integrale energiekosten bij alle 'ketelhuisopties' onder het duurzame energieprijsscenario ook weinig (ordegrootte €1.50). Bij de Chrysantenteelt kunnen alternatieve warmtebronnen de integrale energiekosten onder het duurzame prijsscenario tot zo'n €3 verlagen ten opzichte van een ketelhuis dat volgens de huidige standaard is ingericht (WKK in combinatie met een ketel).

In de belichte tomatenteelt beslaat de range aan opties €6 per m² per jaar en in de onbelichte tomatenteelt levert de goedkoopste alternatieve warmtebron (oppervlaktewater met WP en WKO) onder het duurzame prijsscenario een besparing van €10 per m² per jaar.

Bij de warme potplantenteelt zien we onder het duurzame scenario de grootste spreiding, €12 per m² per jaar.

Onder het transitiescenario is eenzelfde trend waarneembaar, maar zijn de ranges kleiner, eenvoudigweg omdat de energie in dat scenario in het algemeen wat goedkoper is.

Vooral warme potplantentelers (zonder belichting) en tomatentelers kunnen de stijging van de integrale energiekosten, die de overgang naar een fossiel-vrije energie-infrastructuur met zich meebrengt, flink beperken door goed in te spelen op de inzet van alternatieve warmtebronnen.

Tenslotte is een belangrijke conclusie uit de scenariostudies dat opties die onder het transitiescenario de integrale energiekosten minimaliseren ook in het duurzame scenario nog steeds kosteneffectieve opties blijken te zijn. Investerings die voor de middellange termijn worden gedaan in de richting van een verduurzaming van de energievoorziening, behouden daarmee ook op langere termijn hun waarde. Gegeven de prominente rol die warmte-infrastructuren (hoogwaardig of laagwaardig) in een duurzame warmtevoorziening zullen gaan spelen zijn inspanningen op de ontwikkeling van deze technieken passend in de verduurzamingsagenda.

Literatuur

Schoots, K, M. Hekkenberg en P. Hammingh, 2017,

Nationale Energieverkenning 2017, ECN Petten.

Velden, N.J.A. van der, P.X. Smit en J.S. Buurma, 2018,

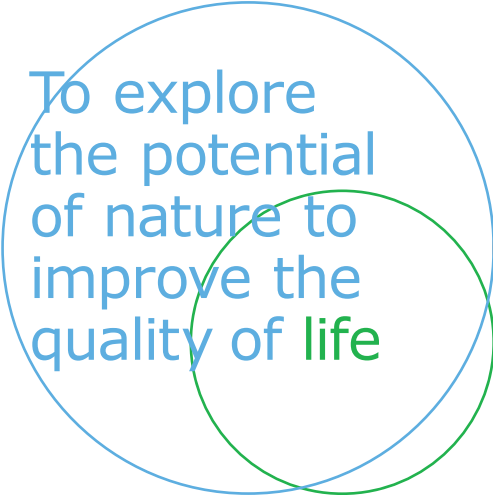
Prognose CO₂-emissie glastuinbouw 2030 en beleidsmatige aspecten. WERC Wageningen

Velden, Nico van der en Pepijn Smit, 2018,

Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2017, WERC Wageningen, rapport 2018-109

Geconsulteerde energie-experts

- Jos Cozijnsen, emissierechten jurist.
- Stijn Schlatmann, consultant Blue Terra Energy.
- Dioni Franken, fundamenteel analist Eneco.
- Arno van Schijndel, specialist netwerk tarieven JUVA.
- Peter van den Berg, directeur inkoop Agro Energy.
- Erik Bax, consultant AAB.
- Rob van der Valk, beleidsspecialist energie Glastuinbouw Nederland.
- Hans van den Berg, procesmanager energie coöperaties Glastuinbouw Nederland.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-853

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.